

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2001-524297

(P2001-524297A)

(43) 公表日 平成13年11月27日 (2001.11.27)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
H 0 4 N 7/30		H 0 4 N 1/41	B
1/41		7/133	Z

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願平11-508888
(86) (22) 出願日 平成10年7月13日 (1998.7.13)
(85) 翻訳文提出日 平成11年9月13日 (1999.9.13)
(86) 国際出願番号 PCT/US98/14160
(87) 国際公開番号 WO99/03059
(87) 国際公開日 平成11年1月21日 (1999.1.21)
(31) 優先権主張番号 60/052, 245
(32) 優先日 平成9年7月11日 (1997.7.11)
(33) 優先権主張国 米国 (US)
(31) 優先権主張番号 09/107, 544
(32) 優先日 平成10年6月30日 (1998.6.30)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 サーフ コーポレイション
アメリカ合衆国, 08543-5300 ニュージャージー州, プリンストン, シーエヌ
5300, 201 ワシントン ロード
(71) 出願人 シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(72) 発明者 ソドガー, イラジ
アメリカ合衆国, 92037 カリフォルニア州, ラ ジョラ, 3068-C ヴィア アリ
カンテ
(74) 代理人 弁理士 高野 明近 (外2名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチスケールゼロツリーエントロピー符号化装置および方法

(57) 【要約】

空間、画質及び複雑さのスケラビリティにおいて柔軟度を持ってビットストリームを生成するウェーブレットツリーを符号化する装置 (100) とそれに関連する方法が開示される。ゼロツリーエントロピー (ZTE) 符号化方法は、マルチスケールゼロツリー符号化スキームを実装することにより完全にスケラブルな符号化方法を実現するように拡張される。

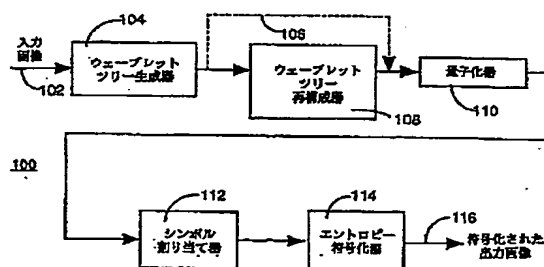


FIG. 1

【特許請求の範囲】

1. 複数のサブバンドに親と子の関係で構成した複数のウェーブレット係数を有するウェーブレットツリーを発生するよう、ウェーブレット変換を利用して入力画像をビットストリームに符号化するための方法において、該方法は、

(a) 前記入力画像に対し複数の最初のウェーブレット係数を有するウェーブレットツリーを生成するステップと、

(b) 前記複数の最初のウェーブレット係数を第1の量子化器で量子化するステップと、

(c) 前記ウェーブレットツリーの前記量子化されたウェーブレット係数の少なくとも1つに1つのシンボルを割り当てるために、前記複数のサブバンドの少なくとも1つに対し深度優先のゼロツリー走査を実行するステップと、

(d) 第1のスケラビリティレイヤを生成するために前記割り当てシンボルに従って前記複数の量子化ウェーブレット係数を符号化するステップと、

(e) 次のスケラビリティレイヤを生成するために前記量子化ウェーブレット係数を再構成するステップと、

を有することを特徴とする入力画像を符号化するための方法。

2. 前記量子化ウェーブレット係数を再構成する前記ステップ(e)は、

(e1) 前記量子化ウェーブレット係数を逆量子化するステップと、

(e2) 前記再構成ウェーブレット係数を前記最初のウェーブレット係数から差し引いて残差ウェーブレット係数を生成するステップと、

(e3) 前記残差ウェーブレット係数から前記次のスケラビリティレイヤを生成するステップと、

を有する特徴とする請求項1に記載の方法。

3. 前記次のスケラビリティレイヤを生成する前記ステップ(e3)は、

(e31) 前記複数の残差ウェーブレット係数を第2の量子化器で量子化するステップと、

(e32) 前記量子化された残差ウェーブレット係数の少なくとも1つに1つのシンボルを割り当てるためにゼロツリー走査を実行するステップと、

(e 3 3) 前記次のスケラビリティレイヤを生成するために前記割り当てシンボルに従って前記複数の量子化残差ウェーブレット係数を符号化するステップと、

を有することを特徴とする請求項2に記載の方法。

4. 前記符号化ステップ(e 3 3)は、さらに、前記量子化残差ウェーブレット係数を更新値を用いて符号化するステップを有することを特徴とする請求項3に記載の方法。

5. 前記ゼロツリー走査を実行するステップ(e 3 2)は、前記量子化残差ウェーブレット係数の少なくとも1つに1つのシンボルを割り当てるためにゼロツリーの状態を使用するステップを有することを特徴とする請求項3に記載の方法。

6. 前記符号化ステップ(d)は、適応算術符号化器を使用し前記複数の量子化ウェーブレット係数を符号化するステップを有することを特徴とする請求項1に記載の方法。

7. 前記符号化ステップ(d)は、適応ビットプレーン算術符号化器を使用し前記複数の量子化ウェーブレット係数を符号化するステップを有することを特徴とする請求項1に記載の方法。

8. 前記符号化ステップ(d)は、さらに、残差ハンドリングを用いて前記量子化ウェーブレット係数を符号化するステップを有することを特徴とする請求項2に記載の方法。

9. 複数のサブバンドに親と子の関係で構成した複数のウェーブレット係数を有するウェーブレットツリーを発生するよう、ウェーブレット変換を用い入力画像をビットストリームに符号化するための装置において、

前記入力画像に対し複数の最初のウェーブレット係数を有するウェーブレットツリーを生成する手段と、

前記複数の最初のウェーブレット係数を第1の量子化器で量子化する手段と、

前記ウェーブレットツリーの前記量子化されたウェーブレット係数の少なくとも1つに1つのシンボルを割り当てるために、前記複数のサブバンドの少なくとも1つに対し深度優先のゼロツリー走査を実行する手段と、

第1のスケラビリティレイヤを生成するために前記割り当てシンボルに従って前記複数の量子化ウェーブレット係数を符号化する手段と、

次のスケラビリティレイヤを生成するために前記量子化ウェーブレット係数を再構成する手段と、

を有することを特徴とする入力画像を符号化するための装置。

10. 復号器にスケラブルな入力画像を選択可能に抽出させることを許すコンピュータ読み取り可能な媒体中のビットストリームであって、

該ビットストリームは、前記入力画像に対し複数の最初のウェーブレット係数を有するウェーブレットツリーを生成するためにウェーブレット変換を用い複数のスケラビリティレイヤに符号化された入力画像を有し、

前記複数の最初のウェーブレット係数は第1の量子化器で量子化され、

ゼロツリー走査は、前記ウェーブレットツリーの前記量子化ウェーブレット係数の少なくとも1つに1つのシンボルを割り当てるために、前記複数のサブバンドの少なくとも1つに対し深度優先で実行され、

前記複数の量子化ウェーブレット係数は、第1のスケラビリティレイヤを生成するために前記割り当てシンボルに従って符号化され、

前記量子化ウェーブレット係数は、前記複数のスケラビリティレイヤを生成するために再構成されることを特徴とするビットストリーム。

11. 情報を符号化するために適応算術符号化器を使用するための方法において、該方法は、

(a) 前記情報を追跡するためにゼロ次モデルを用い少なくとも第1のテーブルを維持するステップと、

(b) 前記情報を追跡するために一次モデルを用い少なくとも第2のテーブルを維持するステップと、

(c) 前記第1と第2のテーブルに従って前記情報を符号化するステップと、を有することを特徴とする適応算術符号化器を使用するための方法。

【発明の詳細な説明】

マルチスケールゼロツリーエントロピー符号化装置および方法

本願は、本願中に参照記述する1997年7月11日付け提出の米国仮特許出願第60/052,245号の利益を請求する。

本発明は画像及びビデオの処理システムに関し、より詳細には、空間、画質及び複雑さのスケラビリティにおいて柔軟度を持ってビットストリームを生成するウェーブレットツリーを符号化する画像及びビデオの処理システムに関する。

開示の背景

データ圧縮システムは、最少のビット数で可能な限り正確に情報を表現するために有効であり、蓄積装置に蓄積又は伝送システムで伝送すべきデータ量を最少にする。ウェーブレット変換、若しくは階層的サブバンド分割として知られている方法は、かような分割が原画像の階層的マルチスケール表現をもたらすので最近では低ビットレートの画像圧縮に使用されている。ウェーブレット変換は低ビットレート画像符号化の重要な実施形態、即ち、非ゼロ値のロケーションを示す2値マップ（ウェーブレットツリー）若しくは変換係数の「重要度マップ」として知られる2値マップの符号化に応用される。スカラー量子化とエントロピー符号化を用い、例えば1bit/pelより少ない非常に低いビットレートを達成するために、量子化後の最尤シンボル（ゼロシンボル）の確率は極めて高くなければならない。通常、予定ビットの大半は、重要度マップの符号化に使用されなければならない。この重要度マップの符号化において有効な改善は、蓄積又は伝送に先立ち情報を圧縮するために重要な改善をもたらす。

この課題を達成するために、「ゼロツリー」と呼ばれる新しい構造が開発された。ウェーブレット係数は、所与のしきい値Tに関し、Tより小さいか又は等しいならば重要でないとする。このゼロツリーは、粗いスケールでの1つのウェーブレット係数が所与のしきい値Tに関し重要でないならば、より細かいスケール

の同一空間ロケーションにおける同じ方位の全てのウェーブレット係数はTに関し多分重要でない可能性が高いと云う仮定に基づいている。

さらに詳細には、階層的サブバンドシステムの場合、最高周波数サブバンドを

除く、所与のスケールにおける全ての係数は、ウェーブレットツリーと云う名前の構造に従う同じ方位のより細かいスケールでの1組みの係数と関係がある。最も粗いスケールの係数を親ノードと呼び、同じ方位の次に粗いスケールの同じ空間及び時間的ロケーションに対応する全ての係数を子ノードと呼ぶ。1つの所与の親ノードに対し、同一ロケーションに対応する同じ方位の全てのより細かいスケールの全係数の組みを子孫と呼ぶ。同様に、1つの所与の子ノードに対し、同一ロケーションに対応する同じ方位のより粗いスケールの係数の組みを先祖と呼ぶ。

各々のノードは、分割スケール順に最粗レベルから最細級レベルまで走査される。これは、子は、その親と、その親が走査された同じスケールの全てのサブバンドにおける全ての親が走査されるまで走査されないことを意味する。これは、二次元データセットのウェーブレット変換の係数によって規定された全ウェーブレットツリーにまたがってサブバンド毎に走査する修正された幅優先タイプである。

係数が重要であるか否かを決定する或るしきい値が与えられると、1つのノードは、1) そのノードの係数が重要でない大きさを持ち、2) そのノードがルートの子孫ではなく、即ち粗いスケールからは完全には推定できず、3) その子孫が全て重要でないならば、ZEROTREE ROOTとよぶ。ZEROTREE ROOTは、より細かいスケールにおける係数が重要でないことが完全に予測可能であることを示す特別な符号を用いて符号化する。2値重要度マップを効率よく符号化するために、4つのシンボル、即ち、ZEROTREE ROOTとISOLATED ZERO及び2つの非ゼロシンボルであるPOSITIVE SIGNIFICANTとNEGATIVE SIGNIFICANTをエントロピー符号化する。

1995年5月2日に発行され、本明細書において参考例として引用する米国特許第5,412,741号は、高度の圧縮により情報を符号化するための装置および方法を開示している。この装置はこれまでの技術よりもより効率的な方法

で、ウェーブレット係数をゼロツリー符号化することを利用している。この装置のカギは、走査すべき係数インデックスのリストをダイナミックに生成し、この

ダイナミックに生成したリストがシンボルを符号化すべき係数インデックスしか含まないようにすることである。このような方法は、係数インデックスの静的リストを使用し、a) シンボルを符号化するのか、またはb) シンボルが完全に予測可能であるかどうかを判断するために各係数を個々にチェックしなければならない従来技術よりも劇的に改善されている。米国特許第5,412,741号に記述されているように、この方法は、埋め込み型ゼロツリーウェーブレット (EZW) 法として知られている。

これとは別に、二次元データセットのウェーブレット変換係数によって規定される全てのウェーブレットツリーを深さ優先で走査して、ウェーブレットツリー (例えば、ゼロツリー) を符号化する方法がある。このウェーブレット符号化方法は、ゼロツリーエントロピー (ZTE) 符号化法として知られており、1997年12月31日に提出された本願にも参照引用した米国特許出願「ウェーブレットに基づく符号化方法により生成されたウェーブレットツリーを符号化するための装置および方法」 (代理人整理番号SAR12234、米国特許第09/002,251号) に記述されている。

ZTE法は有効なウェーブレット符号化方法であることは判明しているが、マルチスケールウェーブレット符号化を可能とする、即ち、空間的解像度と画質のスケラビリティを提供できる柔軟なウェーブレット符号化方法は、種々の応用において利益をもたらす。

従って、空間、画質及び複雑さのスケラビリティにおいて柔軟度を持ってビットストリームを生成するウェーブレットツリーの符号化技術が求められている。

発明の要約

本発明は、空間、画質及び複雑さのスケラビリティに関して柔軟なビットストリームを生成するウェーブレットツリーの符号化装置とその方法に関する。こ

のZTE法は、マルチスケールゼロツリー符号化スキームを実施することにより、完全にスケラブルな符号化を実現するために拡張される。

より詳細には、第1空間解像度 (及び/又は画質 (信号対雑音比 (SNR)))

レイヤのウェーブレット係数を先ず最初に第1量子化器Q0で量子化する。量子化された係数をゼロツリーコンセプトを用いて走査し、次に、重要度マップと量子化係数をエントロピー符号化する。このレベルのエントロピー符号化器の出力BS0は、ビットストリームの第1部分を構成する。次に、第1レイヤの量子化ウェーブレット係数を再構成し、当初ウェーブレット係数から差し引く。この「差分」ウェーブレット係数は符号化器の次の段階に送り込まれ、ここではウェーブレット係数を第2（後続）量子化器Q1で量子化し、続けてゼロツリー走査しエントロピー符号化する。この段階の出力BS1は出力ビットストリームの第2部分を構成する。

第2段階の量子化係数を再構成し、当初ウェーブレット係数から差し引く。この処理をN段階まで実行し、Nレイヤのスケラビリティを提供する。各段階は、1レイヤのSNR又は空間（又は両方の）スケラビリティを表す。空間的スケラビリティは、入力画像の異なる空間解像度に上記N段の符号化器を適用することにより提供される。かように、広範囲のスケラビリティのレベルまたはレイヤを効率よく生成し、ビットストリームに挿入し、特定の用途において必要に応じ、例えば復号器により抽出する。

図面の簡単な説明

本発明の教示は、以下の添付図面を参照して次の詳細な説明を読めば容易に理解されるであろう。

図1は、本発明の画像符号化器のブロック図である。

図2は、図1に示された符号化器の符号化方法を示すフローチャートである。

図3は、ウェーブレットツリーにおける3つのスケールに分割された画像におけるサブバンドの親と子の依存性を示す概略図である。

図4は、サブサンプリングされた画像の3つの世代における親と子の関係を示す図である。

図5は、ウェーブレットツリーにおける種々のノードの相互の関係を示す概略図である。

図6は、ウェーブレットツリーのウェーブレットブロック表現である。

図7は、本発明によって実行される量子化方法のフローチャートである。

図8は、本発明によって実行されるシンボル割り当て方法のフローチャートである。

図9は、空間解像度のスケーラビリティレイヤを持つビットストリームのブロック図である。

図10は、SNR又は画質のスケーラビリティレイヤを持つビットストリームのブロック図である。

図11は、SNRと空間解像度の組み合わせスケーラビリティレイヤを持つビットストリームのブロック図である。

図12は、図1の画像符号化装置の詳細ブロック図である。

図13は、4つの非ゼロウェーブレット係数を示す概略図である。

図14は、SNRスケーラビリティレイヤを生成する符号化器部分を示すブロック図である。

図15は、前レイヤから次レイヤの重要度マップを予測する状態図である。

図16は、ゼロツリー状態を用いて各ウェーブレット係数の状態を追跡する状態図である。

図17は、本発明の符号化システムと復号システムを示す図である。

理解を容易にするために、図面に共通する同一要素にはできる限り同じ参照番号を用いて表示した。

詳細な説明

図1は、本発明の符号化装置100のブロック図であり、図2は図1の符号化装置100の動作を示すフローチャートである。本発明をよく理解するために、読者は本発明の下記の説明を図1と図2を参照しながら読むべきである。さらに

、本発明は先ずZTEに関し説明し、次にマルチスケールZTEを実現するために必要な変更に関して説明する。

符号化器100はウェーブレットツリー生成器104と、オプションのウェーブレットツリー再構成器108と、量子化器110と、シンボル割り当て器112と、エントロピー符号化器114とを含む。これら構成要素はポート102の

入力画像をポート116における符号化された出力画像に処理するように直列に接続されている。この入力画像は一般に画像スキャナまたはコンピュータグラフィックシステムから発生できるような、ピクセル化された（デジタル化された）写真画像である。しかしながら、入力画像はビデオ画像のうちの一連のフレームにおける1つのフレーム、またはビデオ符号化システムによって発生される動き補償された差分フレームでもよい。一般に、本発明は任意の形態のデジタル化された画像またはその一部を処理するようになっている。従って、作動方法は一般にステップ202にて、1つの「画像」、すなわち任意の形態の二次元データを入力することによって開始する。

ウェーブレットツリー生成器104は（ステップ204にて）入力画像の従来のウェーブレットツリー表現を発生するよう、ウェーブレット階層的サブバンド分割を実行する。かかる画像分割を行うために、二次元の各々で2回サブサンプリングを行うことにより画像が水平高域-垂直高域（HH）、水平高域-垂直低域（HL）、水平低域-垂直高域（LH）および水平低域-垂直低域（LL）周波数サブバンドに分割される。次に、LLサブバンドを更に二次元の各々で2回サブサンプリングし、HH、HL、LHおよびLLサブバンドの一组を生成する。サブサンプリングを3回行っている図3に示されているようなサブバンドのアレイを発生するよう、このサブサンプリングを再帰的に行う。実際には4回以上のサブサンプリングを行うことが好ましいが、本発明は任意の回数のサブサンプリングに適応できる。サブバンド間の親との依存性は、親ノードのサブバンドから子ノードのサブバンドを示している矢印として示されている。最低周波数のサブバンドは頂部の左側のサブバンド LL_3 であり、最高周波数のサブバンドは底部右側のサブバンド HH_1 である。この例ではすべての子ノードは1つの親を有する。J・M・シャピロ著の論文「ウェーブレット係数のゼロツリーを使用した

埋め込み型画像符号化(Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients)」、信号処理に関するIEEEトランザクション、第41巻、第12号、第3445～62ページ、1993年12月には、サブバンド分解の詳細な説明が記載されている。

図4は、サブサンプリングされた画像の3世代における親と子の関係を示す。単一の親ノード400は4回のサブサンプリングにより、すなわち2次元の各々で2回のサブサンプリングを行うことにより、画像内の同一領域に対応する4つの子ノード402を有する。各子ノード402はその後の4回のサブサンプリングにより4つの対応する次世代の子ノード404を有する。親ノードをその子および孫に関連づける関係、すなわちデータ構造がウェーブレットツリーである。低-低サブバンドにおける各ペルまたはピクセルはこれに関連する「ツリー」であることに留意されたい。しかしながら、共に取り上げられる低-低サブバンドから延びる複数のツリーを、当技術分野では一般に、画像に関する「ウェーブレットツリー」と称す。本明細書はこのような用語の使用例にも従うものとする。

再び図1および図2に戻ると、量子化器110は(ステップ210にて)「深度優先」(depth-first)パターンでパス106を通してウェーブレットツリーの係数を量子化する。即ち、この方法は、各ツリーを低-低サブバンド($L L_3$)中のルートから子へと移動する。

図5は、各ツリーを横断するのに使用される深度優先パターンを示す。例えば $L L_3$ におけるノード500で開始し、次に太いパスに進むことにより、本発明の深度優先プロセスはサブバンド $L H_3$ におけるノード502に進み、次にサブバンド $L H_2$ におけるノード504に進む。この深度優先横断プロセスはノード504から連続的にサブバンド $L H_2$ 内のノード506, 508, 510および512に進み、すなわちノード504のすべての子に進み、次に504(514, 524, 534)の親類に進み、ここで次の親類および子に進む前に、各親類の4人の子を横断する。一旦ツリーの全枝を横断すると、横断プロセスはノード500の別の子のノード、例えばノード544に進む。深度優先横断プロセスはこのノードからノード546, 548, 550, 552および554に進み、その後、ノード556に進み、更に別のノードに進む。

各枝を横断する際に係数を離散した値に量子化する。本発明では任意の量子化方法を使用する。この量子化プロセスは連続する係数の値を正の値、負の値またはゼロの値のいずれかを有する離散した値にマッピングする。要するに、深度優

先走査パターンではそれらの親504の後であって隣接する親514, 524および534のいずれよりも前で、子506, 508, 510および512を走査する。このように所定の空間ロケーションを示すすべての係数を親500から子502、孫504などの周波数が高くなる順に走査し、その後、次の隣接する空間ロケーションの係数を走査する。

この深度優先走査パターンのこれまでの説明は、「トップダウン」パターンとして説明したが、深度優先走査パターンはボトムアップからの走査も含む。このように、ツリーの「葉」（最底部ノード）でスタートし、ツリーを上に進むよう量子化を行うこともできる。図5の例を参照すると、「ボトムアップ」パターンではまずノード506, 508, 510および512を量子化し、次にノード504を量子化し、次にツリーを上に進み、最後にノード500を量子化する。一旦、そのツリーの量子化を完了すると、量子化プロセスは別のツリーを次々に量子化し、すべてのツリーにおけるすべてのノードを量子化するまで量子化を続ける。後に説明するように、トップダウンではなくボトムアップパターンを使用すると、本発明はより効率的に実施できる。

この深度優先走査パターンを容易にするため、本発明は「ウェーブレットブロック」を形成するよう、各ウェーブレットツリーの量子化された係数を再構成する。図1および図2に示されるように、量子化を行う前に（ステップ206で）ウェーブレットツリー再構成器108内で再構成を行う。

図6は、本発明により発生されたウェーブレットブロック604を略図で示すものである。本発明はウェーブレットツリー602内の低-低バンド606（ LL_3 ）におけるピクセル600から延びるツリー602をウェーブレットブロック604にマッピングする。画像フレーム608の各ウェーブレットブロック604はフレーム内のブロックの空間ロケーションにおけるフレームを示すすべてのスケールおよび方向の係数を含む。係数のメモリロケーションをウェーブレットブロックを形成する新しいメモリロケーションに物理的にマッピングし直すこ

とにより、再構成を行う。このように、連続したアドレスロケーションに所定のウェーブレットブロックのすべての係数を記憶する。これとは異なり、係数を物

理的に再配置せず、仮想メモリ内にマッピングし直してもよい。従って、物理的メモリに対するインデックスを生成し、このメモリでインデックス（仮想メモリ）はウェーブレットブロックに配列されるメモリロケーションを有する。インデックスへアクセスするごとに、係数を記憶する物理的メモリロケーションへインデックスへのアドレスをマッピングする。従って、仮想メモリ方法によりメモリ内の係数を物理的に再配置することなく、ウェーブレットブロックの利点を活用できる。

深度優先走査パターンを使用することにより、各ウェーブレットブロックの係数を量子化するよう、各ウェーブレットブロックを完全に走査し、その後、次のブロック、更に次のブロックを走査する。例えばブロック610を完全に走査し、次にブロック612を走査し、次にブロック614を走査し、同じようにウェーブレットブロックのフレームを通してラスタ走査パターンで次々にブロックを走査する。ブロックの順序はラスタ走査パターンにする必要はなく、アプリケーションが望む任意の順序とすることができる。この順序は所定のオブジェクトに対応するブロックを走査し、符号化し、その後、他のオブジェクトを走査し、符号化するようなオブジェクト指向の順序も含む。ブロック全体は連続するメモリアドレスにあるので、所定のブロックに対する第1メモリ入力をまたは最終メモリ入力を選択し、上り順または降順ですべての他のアドレスにアクセスすることにより、トップダウンパターンまたはボトムアップパターンでブロックを容易に走査できる。

重要なことはかかる再構成によりフレーム内の空間ロケーションに基づき、異なる量子化スケールを各ウェーブレットブロックに割り当てできることである。これにより、係数の空間ロケーションに対し、および／または係数によって表現される周波数バンドに従って、量子化器110を特別に割り当てることができる。このように、画像の中心または画像内の所定のオブジェクトをエッジよりもより正確に量子化できるよう、画像内で量子化スケールを変えることができる。同様に、他の周波数と異なるスケールを使って、より高い周波数（またはある事項に対しては低い周波数、中間周波数、種々の周波数バンドなど）を量子化できる

ように、量子化スケールを周波数に依存させることもできる。また、単一量子化器の代わりに1つの量子化マトリックスを使って各ウェーブレットブロックを符号化してもよい。

ウェーブレットブロックは本発明を実施するのに直感的データ構造を形成するが、ウェーブレットブロックを使用することは任意であり、本発明の符号化器100および後述する他の符号化器を実現する上では必ずしも必要ではない。後述するように、本発明の改良されたツリー横断プロセスおよび改良された符号化技術と共に、従来のツリー構造を使用できる。このように、図1および図2は再構成器およびそれに関連する機能をそれぞれバイパスするパス106およびパス208として再構成器のオプションとしての性質を示している。

量子化後、ツリーの各ノードでは量子化された係数はゼロ値または非ゼロ値のいずれかを示す。あるノードの係数がゼロでかつ、そのすべての子孫がゼロツリーを形成すれば、「ゼロツリー」である。すなわちすべての子孫のノードはゼロの値を有する。深度優先方法により各ツリーを再び走査することにより、ウェーブレットツリーの量子化された係数を効率的に符号化する。従って、ツリーを横断し、ノードの量子化された値だけでなく、各ノードの子孫の量子化された値にも依存して、各ノードに特定のシンボルを割り当てることにより、シンボル割り当て器112は（ステップ212で）作動する。

特に本発明の方法はノードごとに3つのシンボルZEROTREE ROOT, VALUED ZEROTREE ROOTおよびVALUEのうちの1つを割り当てる。ZEROTREE ROOTとは、ゼロツリーのルート（根元）にある係数を示す。シンボルを割り当てる走査の後では、ツリー内のすべての係数は値ゼロを有することが判っているので、ゼロツリーを更に走査する必要はない。VALUED ZEROTREE ROOTとは、係数がゼロでない値を有し、4つすべての子がZEROTREE ROOTを有すノードのことである。このツリーの符号化走査はこのノードよりも決して下に進まない。VALUEシンボルは値をもつ係数を示す。この時係数値はゼロであってもなくてもよいが、非ゼロの値を持つ子孫がツリーに沿ってどこかに存在する。オプションとして重要度マップに第4のシンボル、すなわちISOLATED ZERO (IZ) を加えることがで

きる。この場合 I Z シンボルはゼロの値を有する係数であるが、ツリーに沿ったある部分にゼロではない子孫が存在する。I Z を加えた場合、VALUE は 1 個以上のゼロではない子孫を有するゼロではない係数しか示さない。

シンボルを量子化し、シンボルをノードに割り当てるよう、ツリーを最も効率的に走査するために、量子化器はシンボル割り当て器と共に作動する。図 7 はゼロツリーの係数を量子化するのに使用される量子化方法 700 の詳細なフローチャートを示し、図 8 は量子化された係数値を示すよう、シンボル値を割り当てるためのシンボル割り当て方法 800 の詳細なフローチャートを示す。

方法 700 はブロック 702 で開始し、ステップ 704 に進み、ここでウェーブレットツリー内のノードから係数値が検索される。後述するように、量子化方法は、ウェーブレットツリーをボトムアップの深度優先パターンで走査する。従って、第 1 アドレスは常に最高周波数サブバンドに位置し、方法を繰り返すごとに、この方法はツリーを上に進み、より低い周波数のサブバンドに進む。量子化された値が生成される際に、この方法は子ノードの量子化された値、すなわち子の値またはゼロの追跡を維持する。ステップ 706 にて、この方法は検索された係数値を正の値、負の値またはゼロの値に量子化する。ステップ 708 では、ちょうど量子化された係数値に関連したノードに対する予備的なシンボル値でマークマップが更新される。マークマップのシンボルは子ノードの値だけでなく現在のノードの値にも応じて決定される。走査はボトムアップ方法で実行されるので、マークマップは最終的にノードが ZEROTREE ROOT であるか否かを表現することはできない。従って、すべてのノードに予備的なシンボル値が割り当てられた後に、最終的にシンボル値を割り当てるように再びトップダウンパターンでツリーが走査される。マークマップとは量子化方法 700 により満たされるウェーブレットツリーノードのインデックスである。マークマップにおけるアドレスごとに、この方法は予備的なシンボル、すなわち潜在的な VALUE、潜在的な VALUED ZEROTREE ROOT または潜在的な ZEROTREE ROOT (およびオプションとして ISOLATED ZERO) を記憶する。量子化された係数値が値を有していれば、その係数に対するマークマップロケーションに潜在的な VALUE シンボルをマークする。量子化された係数値がゼロ値であり、その子ノードのすべてがゼロ値であれば、マークマ

アップロケーションに潜在的なZEROTREE ROOTをマークする。オプションとして量子化された係数がゼロ値を有し、その子孫の一部がゼロでなければ、その係数にISOLATED ZEROシンボルをマークする。最後に、量子化された値がある値を有し、その子がすべてゼロ値であれば、マークマップロケーションに潜在的なVALUED ZEROTREE ROOTをマークする。

ステップ710で、本方法はウェーブレットツリー内のすべてのノードが量子化されたかどうかを問い合わせる。問い合わせに対する答えが否定的であれば、この方法はステップ712に進み、ここでウェーブレットツリー内の新しい（次の）ノードまたはツリーを量子化するために選択する。次に本方法はステップ704へ戻る。ステップ710での問い合わせに対する回答が肯定的であれば、本方法はステップ714へ進む。本方法はステップ714にてすべてのツリーが量子化されたかどうかを問い合わせる。この問い合わせに対する回答が否定的であれば、この方法はステップ716にて新しい（次の）ツリー、すなわち量子化を選択する。ステップ714における問い合わせに対する回答が肯定的であれば、本方法はステップ718に進む。本方法700におけるこの点にて、すべてのツリー内のすべてのノードの量子化および予備的なシンボルの割り当てが完了する。ステップ718にて、本方法700は図8のシンボル割り当て方法800を呼び出す。シンボルが割り当てられた後、方法700はブロック720で終了する。

方法800はトップダウンパターン、すなわち根元から葉の方向へツリーを走査する。しかしながら、ツリーはZEROTREE ROOTまたはVALUED ZEROTREE ROOTが発生することに剪定されるので、本方法はすべてのノードにはアクセスしなくてよい。特に方法800はステップ802でスタートし、ステップ804に進む。ステップ804では、この方法は量子化された係数のツリーから量子化された係数を検索する。ステップ806で本方法は検索された係数に対応するマークマップ内の予備的なシンボルを検索する。この方法はステップ808で予備的なシンボルが潜在的なZEROTREE ROOTであるかどうかを問い合わせる。この問い合わせに対する回答が肯定的であれば、この方法はステップ810でノードにZEROTREE ROOTシンボルを割り当てる。次にステップ812でこの方法はツリーを

剪定する。すなわちこの方法は定義によりすべてのノードがゼロ値を有するので、このZEROTREE ROOTノードよりも下のすべてのノードを無視する。

この方法は、ステップ820ですべてのノードが選択されているかどうかを問い合わせる。すべての820における問い合わせに対する回答が否定的であれば、NOパスに沿ってステップ814へ進む。ステップ814でトップダウンの深度優先走査を実行するように、ツリー内で剪定された枝をスキップした後に次のノードを選択する。

ステップ808における問い合わせに対する回答が否定的であれば、NOパスに沿ってステップ816に進む。ステップ816でこの方法はマークマップが潜在的なVALUED ZEROTREE ROOTの潜在的シンボルを含むかどうかを問い合わせる。ステップ816における問い合わせに対する回答が肯定的であれば、ステップ822において、この方法はノードにVALUED ZEROTREE ROOTシンボルを割り当て、その値を非ゼロ値のリストに入れ、ステップ824でツリーを剪定する。ステップ820で、すべてのノードが選択されたかどうかを問い合わせる。ステップ820における問い合わせに対する回答が否定的であれば、この方法はステップ814に進む。次にステップ814において、剪定された枝をスキップしながら、この方法はシンボル割り当てのための次のノードを選択する。

ステップ816における問い合わせに対する回答が否定的であれば、この方法はステップ818においてVALUEシンボルをノードに割り当て、値ゼロを含む値のリストに値を入れる。ステップ820ですべてのノードが選択されたかどうかを問い合わせる。このステップ820における問い合わせに対する回答が否定的であれば、ステップ814に進む。次にステップ814でシンボル割り当てのための次のノードを選択する。

すべてのノードにシンボルが割り当てられるまで、この割り当て方法は続く。従って、ステップ820における問い合わせに対する回答が肯定的であれば、この方法はステップ826に進み、ここでこの方法800は終了するか、方法700へ戻る。図7および8にて説明したこれらの方法は、ゼロツリーエントロピー符号化(ZTE)としてひとまとめに知られているものである。

図1および図2に戻ると、エントロピー符号化器114、例えば従来の算術符

号化器を使ってシンボルおよび値を符号化する（ステップ214）。符号化を行う1つの可能な方法は次のとおりである。まず3シンボルアルファベットを使ってシンボルを符号化する。値ゼロを含まないアルファベットを使い、VALUED ZERO TREE ROOTシンボルに1:1対応する非ゼロ値のリストを符号化する。値ゼロを含むアルファベットを使用し、VALUEシンボルに1:1対応する他の係数を符号化する。走査において達する、子を有しない葉となっているノードに対して、ルートシンボルを適用することはできない。従って、このノードに対するシンボルを符号化せず、値ゼロを含むアルファベットを使用して係数を符号化することにより、一部のビットを節約できる。

シンボルのための3シンボルまたはオプションとしての4シンボル符号化アルファベット、および値のためのマルチシンボルアルファベットを使用する、図示された符号化器は、ウィッテン他による論文「データ圧縮のための算術符号化(Arithmetic Coding for Data Compression)」ACMの技術報告書、第30巻、第6号、第520～540ページ、1987年6月に開示された符号化器に従うものである。実際に、当業者であれば割り当てられたシンボルに従い、係数の値、（または値の表現）を符号化するだけで、本発明を変更できることが認識できよう。すなわち係数の重要性を示すシンボルを符号化することなく、係数の値だけを符号化する。

符号化器100は（ステップ216にて）ポート116で符号化された出力画像を発生する。本発明を利用することにより、ウェーブレットツリーの各ノードにおける3つのシンボルのうちの1つと係数値を符号化するためのビットとを使用して、画像を高速かつ効率的に符号化する。

本発明においては、前記ゼロツリーエントロピー符号化（ZTE）法を、空間、画質及び複雑さのスケラビリティに柔軟性を持たせたビットストリームを生成するウェーブレットツリーの符号化に適用する。図9乃至11を参照し、異なるスケラビリティを有するビットストリームの3つの異なる例について詳述する。

図9は、Mレイヤの空間解像度スケラビリティを有するビットストリーム900のブロック図である。即ち、このビットストリームは、入力画像の空間解像

度912-942を表現する情報がビットストリーム900の異なる部分910-940に対応するように構成されている。このように、復号器は、入力画像の空間解像度912を得ることが必要であれば、ビットストリームの対応部分910を単純に復号する。又、より高い入力画像の空間解像度を得ることが必要であれば、復号器は必要に応じ、ビットストリームの関連部分を単純に復号する。

図10は、NレイヤのSNR（信号雑音比）または画質のスケーラビリティを有するビットストリーム1000のブロック図である。即ち、このビットストリームは、入力画像の異なる画質1012-1042を示す情報がビットストリーム1000の異なる部分1010-1040に対応するように構成されている。このように、復号器は、入力画像の特定の画質1012を得る必要があれば、ビットストリームの対応部分1010を単純に復号する。又、より高い入力画像の画質を得ることが必要であれば、復号器は必要に応じ、ビットストリームの関連部分を単純に復号する。

最後に、図11のビットストリーム1100は、Mレイヤの空間解像度とNレイヤのSNR（信号雑音比）のスケーラビリティを、即ち、SNR-空間の複合スケーラビリティを有している。即ち、このビットストリームは、入力画像の異なる複合SNR-空間スケーラビリティ1112-1142を示す情報がビットストリーム1100の異なる部分1110-1140に対応するように構成されている。このように、復号器は、入力画像の特定の組み合わせSNR-空間スケーラビリティ1112を得る必要があれば、ビットストリームの対応部分1110を単純に復号する。（SNR，空間）スケーラビリティの数と種類は、符号化器により、ビットストリーム中に記述されている。

図12は、画像符号化器100の詳細ブロック図である。より詳細には、離散ウェーブレット変換（DWT又はウェーブレットツリー生成装置）104において入力画像に2回の二次元ウェーブレット分割を実施する。輝度の分割レベル数は、符号化器100により規定され、ビットストリーム中に記述される。色成分は輝度成分よりも1だけ小さいレベルに分割される。

次に、この符号化器は、最低サブバンドを他のサブバンドとは別個に異なる符号化をする。これらの係数を、例えば、一様ミッドライザ-量子化器110a

を

用いて量子化する。最低サブバンド係数を量子化後、予測モジュール112aが後方予測符号化方法を用いて下記のようにLLバンドの量子化値を符号化する。

図13を参照すると、 a 、 b 、 c および x がLLバンドにおける4つのゼロでないウェーブレット係数である場合、次のように x に関し差分値を符号化する。

絶対値 $(a - b) < \text{絶対値}(a - c)$ であれば、 $x - c$ を符号化し、
そうでなければ、 $x - b$ を符号化する。 (1)

次に、復号器は次のように値 x を計算する。

絶対値 $(a - b) < \text{絶対値}(a - c)$ であれば、 $x = \text{値} + c$ とし、
そうでなければ、 $x = \text{値} + b$ とする。 (2)

ここで、「値」とは復号器が受信する値のことである。要するに、式(1)は、絶対値 $(a - b) < \text{絶対値}(a - c)$ であれば、 x は c （水平方向の係数）に近く、そうでなければ、 x は b （垂直方向の係数）に近いことを意味する。従って、この方法は予測がベースとする方向を記述するのに、ビット（オーバーヘッド）を伝送する必要がある。

次に、後方予測による係数を、適応算術符号化器114aを用いて符号化する。まず、係数の中で最小値を見つける。この値「バンドオフセット」を全ての係数から差し引き、下限をゼロに制限する。次に、係数中の最大値（「バンド最大値」）を見つける。「バンドオフセット値」と「バンド最大値」をビットストリーム中に入れる。即ち、この算術符号化器は、「バンド最大値」のもとを一樣に配分することで初期化される。次に、係数を走査し、この適応算術符号化器で符号化する。

図12に戻り、符号化器は、より高いサブバンドを低-低サブバンドとは異なる方法で符号化をする。より詳細には、広範囲のスケラビリティのレベル又はレイヤを実現するために、マルチスケールゼロツリー符号化方法を採用し、量子化器110b、ゼロツリー走査(ZTS)112b及び算術符号化器114bを、図14に示すような複数段に実装する。

図4はSNRレイヤを生成するための符号化器の部分1400のブロック図で

ある。より詳細には、この符号化器の符号化部1400は複数の段1410_{1-n}より成り、各段は1つのSNRレイヤの生成を支援する。

動作時、特定の空間解像度（入力画像の異なる空間解像度を使用できる）の入力画像のウェーブレット係数を、量子化器Q₀1412で量子化する。これらの量子化された係数を、ZTSモジュール1414で、前記ゼロツリーコンセプトを用いて走査し、重要度マップと量子化係数を図7及び図8で説明したエントロピー（算術）符号化器1416を用いてエントロピー符号化する。このレベルにおけるエントロピー符号化器1416の出力BS0は、ビットストリームの第1部分、即ち、第1SNRレイヤである。

現エントロピー（算術）符号化器は、例えば、係数値の範囲と他の係数値に対するロケーションに関する傾向を洞察又は明らかにするための統計値を集める。かような情報を用い、算術符号化器は、例えば、より少ないビットの割り当てたシンボルを用いて頻繁に遭遇するタイプ又は係数値を示し、符号化の効率を改善することができる。異なるエントロピー（算術）符号化器を実装した複数の他の実施例について以下に説明する。

次に、第1レイヤの量子化ウェーブレット係数を再構成し、逆量子化器1418及びバッファ1419を介して当初のウェーブレット係数から差し引く。「残差ウェーブレット係数」を符号化器の第2段1410₂に供給し、残差ウェーブレット係数を量子化器Q₁で量子化しZTSモジュール1424で走査し、エントロピー符号化器1426でエントロピー符号化する。注意すべき点は、残差ウェーブレット係数は量子化プロセスにより導入された誤差を示していることである。従って、後続出力BS_xは、量子化ウェーブレット係数の再構成を精緻にするために復号器が使用できる「更新値」として認められる。しかしながら、次の段で量子化器のスケールを変えると、前段では存在しなかった新しいウェーブレット係数が出現する（例えば、これらの新しいウェーブレット係数は、前段ではゼロに量子化されていた）ことにも留意すべきである。この量子化プロセスについてさらに説明する。この第2段の出力BS1は、出力ビットストリームの第2部分であり、例えば、第1SNRレイヤと結合すると第2SNRレイヤを生成

する追加情報である。

第2段1410₂の量子化係数も再構成して当初のウェーブレット係数から差し引く。プロセスは次の段に継続する。図14に示すように、符号化器のN+1

段は、N+1レイヤのSNRスケラビリティを提供する。各段は1レイヤのSNRを示している。空間（又は空間とSNRの）スケラビリティを得るために、入力画像の異なる空間解像度を経路1405の入力として供給することができる。例えば、入力画像の複数の異なる空間解像度を第1段1410₁で処理し複数の空間スケラビリティを発生させることができる。一方、空間とSNRの両方のスケラビリティを望む場合は、入力画像の各空間解像度を符号化部1400の次段で処理すればよい。

量子化

前述のように広範囲のスケラビリティレベルを効率よく実現するために、本発明においてはマルチレベル量子化方法を採用している。即ち、 Q_n を Q_{n-1} とある関係を持つようにすることができ、これを符号化器で規定し、ビットストリームに書き込むことにより、任意の応用における複雑さと符号化の効率及びスケラビリティのレベルとタイプ間の正しいトレードオフ（折り合い）を支援する非常に柔軟なアプローチを提供する。例えば、第1段での量子化の後、各ウェーブレットはゼロか非ゼロの何れかである。しかしながら、各後続レベルのスケラビリティに対し、異なる量子化のステップサイズを指定して、前レベルにおけるウェーブレット係数の再構成を更新することができる。例えば、全ての量子化器は、量子化ステップサイズの2倍のデッドゾーンを有する一様ミッドライズ量子化器とすることができる。これらの量子化ステップサイズを、符号化器でビットストリーム中に規定し、例えば、量子化又はピンインデックス（格納箇所）を送る。

好適な実施例において、このMZTE量子化方法は、1組みの量子化ステップサイズQより成り、各SNRレイヤは1個の関連Q値を有する。Q値は、正の整数であり、1量子化レベルのそのSNRレイヤにおける全範囲を示している。第1レイヤの場合、各量子化レベルは、ゼロレベルでなければ、Q値（[レベル*

$Q, \dots, (\text{レベル}+1) * Q - 1]$) を示し、ゼロレベルであれば、 $2Q - 1$ 値 ($[-(Q - 1)]$) を示す。後続の SNR レイヤの場合も、値の数が 1 つ多い

か 1 つ少ない点を除き同様である。

当初の量子化の場合、ウェーブレット係数を第 1 SNR レイヤに対する Q 値で単純に除算し、これにより当初の量子化レベルを得る。連続する SNR レイヤの場合は、量子化値を更新する補正インデックスのみを送る。更新値は「残差」と呼び、更新レベル数を最初に計算して算定する。

$$M - \text{ROUND}(\text{prev}Q / \text{cur}Q) \quad (3)$$

式中、 $\text{prev}Q$ は前 SNR レベルの Q 値で、 $\text{cur}Q$ は現 SNR レイヤの Q 値で、 ROUND は最も近い整数への丸めを示す。尚、割り算自体は整数でなくてもよい。

前の SNR レイヤの各逆量子化範囲は、できる限り均等に更新レベルを作用させるように分割される。この分割は、 $\text{prev}Q$ を $\text{cur}Q$ で等分割できる場合 (例えば、 $\text{prev}Q = 25$ で $\text{cur}Q = 5$)、全ての分割サイズを同じにする。 $\text{prev}Q$ が $\text{cur}Q$ で等分割できない場合 (例えば、 $\text{prev}Q = 25$ で $\text{cur}Q = 10$)、分割区間に最大 1 の相違がある。大きい方の分割区間はゼロに近い側の分割である。残差は、当初の量子化されていない値が実際に存在する分割区画の数である。このインデックスのために 2 つのシナリオを提示する。

ケース I : 前 SNR レベルがゼロに量子化されていれば (即ち、その値がデッドゾーンにあった場合)、残差は、 $\{-m, \dots, 0, \dots, +m\}$ 中の $2m - 1$ 個の値のうち 1 つでなければならない。

ケース II : 前 SNR レベルが非ゼロに量子化されていれば、(この符号は逆量子化器において既に知られているので)、残差は、 $\{0, \dots, m - 1\}$ 中の m 個の値のうち 1 つでなければならない。

この可能な残差値の制限は、連続する量子化値間の関係と、或る与えられた値が最後の SNR のパスにおいてゼロに量子化されたか否かに基づいている (これらの事実は両方共、復号器において知られている)。上記と同様な理由により、

2つの残差モデル（1つは第1のケース用で1つは第2のケース用）を算術符号化に用いることにより符号化率を高めることができる。

逆量子化の場合、（現S N Rレイヤにおける）再構成レベルは逆量子化の範囲の中間点であると考えられる。かように、誤差は該当逆量子化レベルの範囲の半

分に制限される。当初量子化値と残差により与えられた量子化レベルを再構成することが可能である。上述の量子化方法は、又、各追加S N Rスケラビリティに対する量子化ステップサイズの半分を拘束条件とする画像のビット平面符号化を実施できる。

ゼロツリー走査及び適応算術符号化

ゼロツリー走査は、スケール上のウェーブレット係数の振幅には強い相関が存在することが観測されていることと、係数の部分的な配列の前提条件に基づいている。図6は、親と子を箱で示し線で結んだウェーブレットツリーを示している。最も低い周波数サブバンド（図3の上方左）は後方予測を用いて別個に符号化しているので、ウェーブレットツリーは隣のより高いバンドから走査を開始する。

前述のZ T Sモジュールにおいて、係数がゼロであり、そのノードの全ての子がゼロツリーであるノードには、ゼロツリーが存在すると見なす。ウェーブレットツリーは、各ツリーを、低-低バンドのルートから子を通り走査し、遭遇した各ノードに4つのシンボル（ZEROTREE ROOT（Z R T）、VALUED ZEROTREE ROOT（V Z R T）、VALUE（V A L）又はTSOLATED ZERO（I Z））の中の1つを割り付けることにより、効率よく表現され符号化される。「ゼロツリー」は、かようなツリーの全ての係数はゼロの振幅を有していることが知られているので、以後走査する必要がない。「VALUED ZEROTREE ROOT」は、係数が非ゼロで、4つの子が全てゼロツリールートであるノードであり、即ち、このツリーの走査はこのシンボルで停止することができる。VALUEシンボルは、ゼロ又は非ゼロのいずれかの振幅を有し、幾つかの非ゼロの子孫を有する係数を特定する。TSOLATED ZERO（I Z）シンボルは、ゼロであるがそのツリーの下方に非ゼロを有するノードを特定する。

図14の各レイヤにより生成された重要度マップは、次レイヤの重要度マップを予測するために使用される。このプロセスを図15に示す。即ち、1つのノードが、1つのレイヤにおいて重要であることが判明（VALシンボルで特定）し

た場合、後続のレイヤにも重要度が残ると見なされるので、重要度シンボルを再送する必要はなく、その（大きさを更新する）更新値のみを各パスの中のビットストリームに挿入する。同様に、1つのノードがVZTRであると判明すれば、次のパスはVZTRであるかVALノードになる。第4シンボルIZを使用すれば、IZシンボルの付いたノードは次の反復においては、VAL又はIZにマップされる。2つの連続するスケーラビリティレイヤ中のIZシンボル付きノードの下の部分木（サブツリー）を比較することによりさらなる改善が実現できる。このサブツリーが同一の重要度マップを有していれば、符号化器はIZシンボルに代えてZTRシンボルを送り、第2レイヤ中の重要度マップをスキップする。（IZまたはVALシンボルに代えて送られてきた）ZTRシンボルを受信次第、復号器は前レイヤからこのサブツリーの重要度マップを検索し、サブツリーを更新値だけで更新する。

ゼロツリーシンボルと量子化値を、適応算術符号化器114bを用いて符号化する。この算術符号化器はゼロツリーの統計値を適応的に追跡する。ゼロツリーステージで生成したシンボルと量子化係数値を、適応算術符号化器と4個のシンボルアルファベットを用いてすべて符号化する。VALUED ZEROTREE ROOTシンボルに1対1で対応するその他の非ゼロ量子化係数のリストを、ゼロを含まないアルファベットを用いて符号化する。VALUEシンボルに1対1で対応する残りの係数はゼロを含むアルファベットを用いて符号化する。1回の走査において到達した子を持たない葉であるノードには、ルートシンボルは付けられない。従って、このノードのシンボルを符号化しないことと、ゼロを含むアルファベットを用いて係数を符号化することにより若干のビットを節約することができる。

より詳細には、この算術符号化器において、3つの異なるテーブル（TYPE, VALZ, VALNZ）は同時に符号化しなければならない。各テーブルの統計値は異なり、従って算術符号化器は少なくとも3つの異なる確率モデル（各テ

ープルにつき1つのモデル)を追跡しなければならない。本発明の1つの実施例において、これらの値を符号化するために5つの異なるモデルを使用する。即ち、1) TYPE, 2) 低一低バンドの非ゼロ量子化係数を符号化するためのDC, 3) その他の3つの低解像度バンドの非ゼロ量子化係数を符号化するためのA

C, 4) VALUED ZEROTREE ROOTシンボルに1対1で対応するその他の非ゼロ量子化係数を符号化するためのVALNZ, 5) VALUEシンボルに1対1で対応する残りの係数を符号化するためのVALZを使用する。任意のウェーブレットブロック中の各ウェーブレット係数に対して、先ず係数を符号化し、次にそのタイプと値を計算し、最後にこれらの値を算術符号化する。算術符号化器の確率モデルは、各テーブルに適したものを選択する。各モデルに対し、アルファベット範囲を判定し、この値(最大のアルファベット "max_alphabet")をビットストリームに入れる。

符号化器の出力は、各輝度及び色成分につき1つのビットストリームである。従って、各動き補償残差フレーム毎に3つの異なるビットストリームを生成する。3つのビットストリームを連鎖させ、適当なヘッダを付け、符号化器の主出力ビットストリームにはめ込む。全ての輝度成いは色の残差成分がゼロに量子化されている場合は、スキップコードを送り、その残差成分の符号化コストを最小にする。

別案として、本発明は算術符号化器用のゼロ次と1次の混合確率モデルを内蔵する。この算術符号化器を最適に動作させることを実例で説明するには、シンボルの結合確率を使用することが通常必要であろう。符号化したシンボルの過去の履歴に基づき、必要とする確率のモデル化を試みる。使用できる簡単なモデルは、符号化されるシンボルの(過去における)発生数にのみ基づくゼロ次モデルである。即ち、ゼロ次モデルは、累積モデルである。かように、1つの n シンボルシーケンス(ここでは、 x_1, x_2, \dots, x_n と規定する)を符号化するために、各確率 $P_r(x_1, x_2, \dots, x_n)$ は、 $P_r(x_1)P_r(x_2)\dots P_r(x_n)$ と計算される頻度数により近似させる。このモデルは或る推定分布に頻度数カウントを介して初期化されねばならない。一様分布が仮定されることも多

い。この初期化のために、このモデルは、頻度数カウントが（もし存在するならば）「真」のゼロ次分布 $P_r(x_i)$ に反映されるまでに、幾つかのシンボルを符号化する必要がある。

ゼロ次モデルを改善したものが、発生した前シンボルに条件づけられた各シンボルの発現数の追跡状態を保持する一次モデルである。即ち、一次モデルは過去

の発現を小さな「窓」で単純に回顧する。このモデルは、確率 $P_r(x_1) P_r(x_2 | x_1) \dots P_r(x_n | x_{(n-1)})$ を計算する。しかしながら、この方法は「真」の一次分布を反映させるためにはゼロ次分布よりもより多くのシンボルを得なければならない。かように、一次モデルをある期間作動させるまでは、算術符号化器は、「真」の一次分布を最適に実行できない。

本発明の別の実施例では、両方の分布を同時に使用する折衷案であり、ゼロ次モデルと一次モデルの組み合わせを含んでいる。ゼロ次モデルは真の分布をより迅速に反映するので、最初の符号化シンボルにはより大きく作用すべきであり、一次モデルは十分な数のシンボルが符号化された後で前者に代わり作用させた方がよい。

本発明に混合モデルを用いるために、各モデルを4つの異なるテーブルを用いて追跡する。最初の2つのテーブルはゼロ次モデルの頻度数カウントと累積頻度数カウントに対応する。その頻度数カウントは、或るシンボルが過去に発現した回数を意味する。第3と第4のテーブルは、一次モデルの頻度数カウントと累積頻度数カウントに対応する。一次テーブルの場合、各シンボルの出現に、これらのテーブルのどれよりも大きい一定の整数値を付加することが許される。この追加カウント値を与えることにより、一次テーブルの重みをゼロ次テーブルよりも大きくする。

n_{sym} を符号化するシンボルの数と仮定する。これらのシンボルは $(0, 1, \dots, n_{sym}-1)$ の中の1つであると推定できる。ゼロ次の場合、頻度数カウントテーブル用の n_{sym} の要素と、累積頻度数カウントテーブル用の $n_{sym}+1$ 要素が必要である（累積頻度数カウントテーブル用の追加要素は常にゼロであり、プログラミングを簡単にするために用いられる）。一次テーブルの場

合、発現した最後のシンボルであり得る各 $n\text{sym}$ シンボルのカウントを保持する必要がある。かように、 $n\text{sym} * n\text{sym}$ 要素が頻度数カウントテーブル用に必要であり、 $n\text{sym} * (n\text{sym} + 1)$ 要素が累積頻度数カウントテーブル用に必要である。ゼロ次テーブルは、一様分布を反映するように初期化され（全てのシンボルに対し頻度数カウント = 1）、一次テーブルは、当初計数を全てゼロにセットする。

符号化された最後のシンボルに対応する状態（又はコンテキスト）変数を維持する。シンボル 0 に初期化する（即ち、符号化された最初のシンボルは、0 シンボルが符号化された最後のシンボルであるかのように一次テーブル値をインクリメントする）。この変数は、各シンボルの符号化毎に新しいシンボルに更新される。

算術符号化器が必要とするモデル確率を生成するために使用される実際の頻度数は、ゼロ次と一次のテーブルから得られる値の単純合計である。例えば、符号化された最後のシンボルが S であり、新しいシンボルが T であり、一次テーブルが符号化された最後のシンボルに対応する第 1 次元をもつ 2 次元であると推定すれば（即ち、一次テーブルがゼロ次テーブルと類似の $n\text{sym}$ の一次テーブルより成っている）、ゼロ次テーブル中の S 番目の要素と T 番目の一次テーブル中の S 番目の要素の頻度数の合計を使用する。 freqZeroth をゼロ次テーブル、 freqFirst を一次テーブルとすると、これを、 $\text{freqZeroth}[S] + \text{freqFirst}[T][S]$ と書くことができる。

本発明のマルチスケール ZTE (MZTE) 法の 1 実施例において、上記混合次モデルを使用し算術符号化器の性能を下記のように改善している。

a) 残差の独立確率モデル：前スケーラビリティレイヤの 1 つにおいて 1 つの値が非ゼロに量子化された場合、それを残差であると見なし、その更新インデックスを、別の適応モデルによってエントロピー符号化する。この適応モデルは、値とは全く異なる残差の統計学的ふるまいを示す。

b) 改善された混合次モデル：「実際の」確率のさらにより推定値を得るために、1 次及び混合次確率モデルを符号化器に付加する。1 次モデルは、混合次モ

デルにより、エントロピー符号化を実行するために使用される。つまり、この方法は、最後の発現シンボルの大きさが或る特定の予め規定された範囲に入るものと仮定された、1つのシンボルが発現する確率を推定することを試みる。

単純な一次モデルは、ゼロ次モデルと比べ、事前に推定した「真」の確率分布を表現するためにより多くのシンボルを要し、分布の変化に反応するためにもより多くのシンボルを要する。これは、書き込むテーブルが多いことによるものである。

混合次モデル部は、ゼロ次モデルより重みをつける。この重みづけは、頻度数カウントの増分（インクリメント）を通して実現する。ゼロ次モデル部が単位増分を用い、一方一次モデル部は1より大きい値の増分を用いる。実験結果を用い、一次増分は、符号化される異なるタイプのシンボルセット毎に固定されている。混合次モデルは、ゼロ次モデルの迅速適応時間と一次モデルのより良い確率表現間のバランスを特徴とする。

バイレベル（ビットプレーン）算術符号化

別の実施例で、本発明のM Z T E法は、バイレベル（ビットプレーン）算術符号化を含んでいる。算術符号化器は、 n 個の入れ物（ビン）をもつ確率モデル（ n はセット中の最大値）を有しているので、これらの値を符号化する別の方法は、値を2進数で表現し各桁を2値符号化器を用いて（ビットプレーンによる符号化として知られている方法で）符号化することである。則ち、この確率モデルは、ウェーブレット量子化値を符号化するために2つの入れ物（1つは“0”でもう1つは“1”）だけを持つ。この方法では、適応モデルを一様分布により初期化する。最上位のビット（MSB）から始め、値の全てのMSBを1つの適応モデルを用いて符号化する。その後、このモデルを一様分布にリセットして、全ての値の2番目のビットを符号化する。このプロセスを、全ての値の最後の桁を符号化するまで繰り返す。桁数を復号器に送る。

このバイレベル符号化スキームは、M Z T E法の全ての符号化モードにおいて使用できる。この2値算術符号化は、 N シンボル算術符号化より少ない計算量で済む。符号化効率は、大きさを1つのシンボルとして符号化することにより改善

される。

残差のハンドリング

本発明の別の実施形態は、上述のマルチスケールゼロツリーエントロピー符号化(MZTE)方法を改善する残差ハンドリング法を含んでいる。繰り返しにな

るが、或る与えられたノードにおけるウェーブレット係数値が、その前の(空間又はSNR)スケーラビリティレイヤにおける量子化後に非ゼロ値を持っていた場合、後続レイヤにおけるノードの更新値を残差と呼ぶ。

上述のMZTEにおいて、ゼロツリー構造が1つのスケーラビリティレイヤに形成されると、残差は、非残差と同様に取り扱うことができる。即ち、これらの値は、「先祖」ノード(該当空間ロケーションを持つ低周波数バンド中のノード)のゼロツリータイプの割り当てと、それら自身のノードのゼロツリータイプの割り当ての双方で、重要度を特定する。かように、残差がゼロであり、ノードが葉でない(即ち、子孫を持っている)場合、その残差値(更新インデックス)は送る必要はない。これは、ゼロツリーのタイプが残差値がゼロである情報を復号器に十分に提供できる事実による。ノードがゼロであれば、ノードのゼロツリータイプはZR子孫、ZTR又はIZの何れかである。1つのノードのZTR子孫の状態は、ZTRであり、IZタイプは符号化しビットストリームに書きこまなければならない。全ての子孫がゼロである場合に、1つのZTRが送られ、それ以外はIZが送られる。残差が非ゼロであれば、(その子孫の重要度に従って)VALまたはVZTRタイプが割り当てられ、更新インデックスの値が送られる。

符号化の効率を改善するために、残差ハンドリングの3つの実施形態を代替実装することが可能である。第1の形態は、1つのスケーラビリティレイヤにゼロツリー構造が形成されると、全ての残差を、ゼロ値を有しているかのように取り扱う。第2の形態は、残差値(更新インデックス)を(ゼロであるか否かに拘らず)常に送る。最後の形態は、ゼロツリータイプの残差は送らない。

これらの変更は、残差がZTRの子孫(全ての子孫がまたZTRの子孫であることを意味する)でなければ、その最初の非残差の子孫は必ず符号化されなけれ

ばならないことを示している。これは、このタイプの残差を送らず、その子孫の重要度に関する情報を送らないためである。即ち、1つのノードがゼロツリータイプVZTR又はZTRであれば、その子孫ノードは全てゼロである。1つのノードがタイプVAL又はIZであれば、幾つかの重要な子孫が存在する。ゼロ値の残差もこの場合は送らねばならない。符号化率の観点からは、上記の2つの事

実は、残差についてタイプ情報を送らないことと、ゼロツリー生成時に残差がゼロ値を持つかのように残差が作用する事実に基づき、より多くのゼロツリーを発生させる事実との、トレードオフの関係にある。

適応レート

上述のMZTE算術符号化器の1つの実施例において、複数の確率モデルを採用し、各々のモデルをヒストグラムとして実装している。各ヒストグラムは最大頻度数をもち、シングル量子化及びマルチ量子化モードで使用される全てのモデルにおいて、そのヒストグラムの最大頻度数を大きな固定値(2^{14-1})に設定している。各シンボルを符号化／復号した後、対応ヒストグラムのエントリーがインクリメントされる。ヒストグラム中の全てのカウン트의合計が最大頻度数カウント値に達すると、各エントリーに1加えて2の整数除算をする。全ての算術モデルは、各SNRレイヤの最初と各色成分に対し初期化される。

最大頻度数カウントはモデルの適応レートを制御することが判っている。言い換えれば、最大頻度数カウントは、先に符号化したシンボルの現ヒストグラムに対する影響量を制御する。最大頻度数カウントが大きければ大きいほど、先に符号化したシンボルの影響が長くなる。本発明の他の実施例は、2つの適応レート制御方法を含んでいる。

先ず、各モデルのアルファベットのシンボル数が異なっているので、MZTE中の異なるモデルの最大頻度数を、特にいくつかのモデルの最大頻度数の値を減らすことにより変える方法である。かようにして、各確率モデルを、それ自身の確率分布に適応するように調節できる。

次に、最大頻度数を変えると同様の効果を達成する他の方法は、モデルの初期化の頻度数を変えることである。各SNRレイヤの始めと各色成分に対し全て

のモデルを初期化するのに代えて、各色及びSNRループにおける各サブバンド毎に全てのモデルの初期化を行なう。

MZTE符号化のためのゼロツリーの状態

本MZTE法の他の実施例は、「ゼロツリーの状態」を用い、符号化器と復号器の両方の計算上の複雑さを軽減する。運転時、上記MZTE法は、与えられたツリーのウェーブレット係数の重要度を示す1組みのシンボル（例えばゼロツリーシンボル）を用いる同様のコンセプトを採用する。これらのゼロツリーシンボルをビットストリームに入れて、所定のツリーのウェーブレット係数の重要度を表示する。

しかしながら、現及び前のスケーラビリティレイヤにおける各シンボルと他のゼロツリーシンボル間の相互依存関係が高いため、符号化器側で正しいシンボルを発見し、復号器側でシンボルを正しく理解することが複雑な仕事になる。本実施例は、「ゼロツリーの状態」と称する新しいゼロツリーシンボルの組みを導入する。これらのシンボルはビットストリームには入れずに、所与の画素、即ちウェーブレットツリーの特定のノードにおける符号化器／復号器の次に可能な状態を決めるために使用する。

上述のMZTE法は、符号化のために、3つのシンボルの組み（ZTR, VAL, VZTR）又は4つのシンボルの組み（ZTR, VAL, VZTR, IZ）を使用することができる。これらのゼロツリーシンボルはビットストリームに入るが、シンボルの新しい組（ゼロツリーの状態）は各係数の状態を追跡するために用いられる。各ウェーブレット係数は、各スケーラビリティレイヤにおいて1つの独特なゼロツリーの状態を持つ。その係数は、当初のゼロツリーシンボルを用いて、或る状態から他の状態に移行し符号化／復号される。図16は各ウェーブレット係数の状態を追跡するための状態図を示している。7つのシンボル（S_DC, S_LEAF, S_NZ, S_ROOT, S_RLEAF, S_RVAL, S_RVZTR）の組みを、ゼロツリーの状態のために使用する。ここで、S_DC, S_LEAF, S_NZ, S_ROOTは初期状態であり得る。これらのシンボルの定義は、下記の通りである。

S__DC (1610) : DCウェーブレット係数の状態である。符号化が始まると、同じ状態に留まる。

S__ROOT (1640) : ゼロツリー状態である。係数はゼロで、その子孫は全てゼロである。ゼロツリールートZTRが出現し状態1640に戻る。係数がゼロで、その子の1つがゼロでない場合、孤立したゼロが発現し状態1640に戻る。係数が値を持っていれば、その値が量子化され、その大きさが送られる。係数が値を持っているが子供が全てゼロであれば、その値を量子化しVZTRを送る。

S__RVAL (1660) : 残差VALUE状態である。係数は、前のスケーラビリティレイヤにおいてVALとして少なくとも1回符号化されている。

S__RVZTR (1670) : 残差VALUED ZEROTREE状態である。その係数は、前スケーラビリティレイヤにおいてVZTRとして少なくとも1回符号化されている。

S__LEAF (1620) : ゼロツリーの葉に位置し、現スケーラビリティレイヤにおいて初めて符号化されるウェーブレット係数に対する状態である。

S__NZ (1630) : 初めて符号化される非ゼロウェーブレット係数に対する状態である。

S__RLEAF (1650) : 前スケーラビリティレイヤにおいて少なくとも1回符号化されているゼロツリーの葉に位置するウェーブレット係数に対する状態である。

S__RVAL (1660) : 前スケーラビリティレイヤにおいて少なくとも1回符号化されている非ゼロウェーブレット係数に対する状態である。

図16は、ゼロツリーの状態を示す状態図である。図16に見られるように、ゼロツリーシンボルとその値を1つの状態から他の状態に移行させて符号化する。図中、ビットストリームに入れるゼロツリーシンボルとその可能値は全ての遷移に示してある。「黒点●」はその係数の値又は大きさを送ることを示し、「括弧○」は送らないことを、「破線…」は空間レイヤの付加を示す。

これらの状態マシンを使用すると、各状態に対し個別のモデルを関連づける

ことにより符号化器及び復号器は共に容易に算術符号化モデルを切り替えることができる。エントロピー符号化値として各遷移は、どのモデルが値の符号化／復号に用いられるかを示す。

図17は、本発明の符号システム1700と復号システム1705を示す。符

号化システム1700は汎用コンピュータ1710と種々の入出力装置1720より成る。この汎用コンピュータは中央処理装置（CPU）1712と記憶装置1714と画像シーケンスを受信して符号化する符号化装置1716より成る。

好適な実施例において、符号化装置1716は、前述の符号化器100及び／又は符号化器1400である。この符号化装置1716は、通信チャンネルを介してCPU1712と接続した物理的な装置であってよい。代わりに、符号化装置1716を応用ソフトウェア（又はソフトウェアとハードウェアの組み合わせ）で構成してもよく、例えば、特定用途用集積回路（ASIC）を用い、記憶装置、例えば、磁気ディスク又は光ディスクからロードさせ、コンピュータの記憶装置1714に常駐させてもよい。かようにすれば、本発明の符号化器100及び符号化器1400を、符号化器で生成したビットストリームを含め、コンピュータが読み取り可能な媒体に格納できる。

コンピュータ1710は、複数の入出力装置1720と接続でき、この入出力装置は、キーボード、マウス、カメラ、カムコーダ、ビデオモニタと、テープドライブ、フロッピードライブ、ハードディスクドライブ又はコンパクトディスクドライブを含むがそれだけに限定されない任意数の画像装置又は記憶装置を含む。

入力装置は、符号化ビットストリームを生成するためにコンピュータに入力を供給し、記憶装置または画像装置からビデオ画像シーケンスを受信する。

符号化システムは通信チャンネル1750を介して復号システムと接続される。但し、本発明は特定タイプの通信チャンネルに限定されるものではない。

復号システム1705は、汎用コンピュータ1730と種々の入出力装置1740とより成る。この汎用コンピュータは中央処理装置（CPU）1732と記憶装置1734と符号化された画像シーケンスを受信して復号する復号装置17

36より成る。

好適な実施例において、復号装置1736は、前述の符号化器100と1400で生成したビットストリームを復号するために符号化器100と1400に補追した復号器である。この復号装置1736は、通信チャンネルを介してCPU1732と接続した物理的な装置であってよい。代わりに、この復号装置173

6を応用ソフトウェアで表現し、記憶装置、例えば、磁気ディスク又は光ディスクからロードさせ、コンピュータの記憶装置1734に常駐させてもよい。かようにすれば、本発明の符号化器100及び1400の補追復号器をコンピュータが読み取り可能な媒体に格納できる。

コンピュータ1730は、複数の入出力装置1720と接続でき、この入出力装置は、キーボード、マウス、ビデオモニタと、テープドライブ、フロッピードライブ、ハードディスクドライブ又はコンパクトディスクドライブを含むがそれだけに限定されない任意数の画像記録又は配信装置を含む。入力装置は、復号したビデオ画像列をコンピュータが記憶し分配できるように作動する。

本発明の教示を含む種々の実施態様について詳細記述して来たが、当業者ならば、これらの教示を含む多くの他の変更態様を容易に工夫できよう。

【図1】

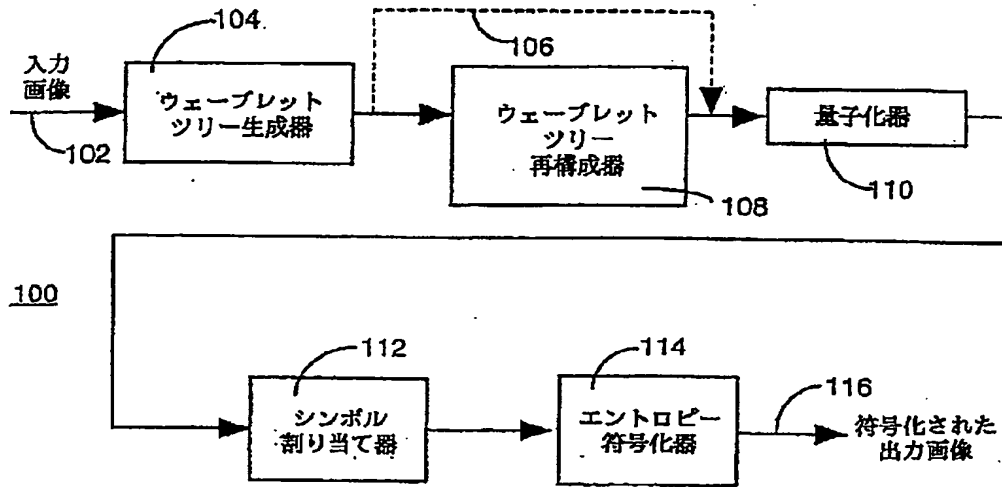


FIG. 1

【図5】

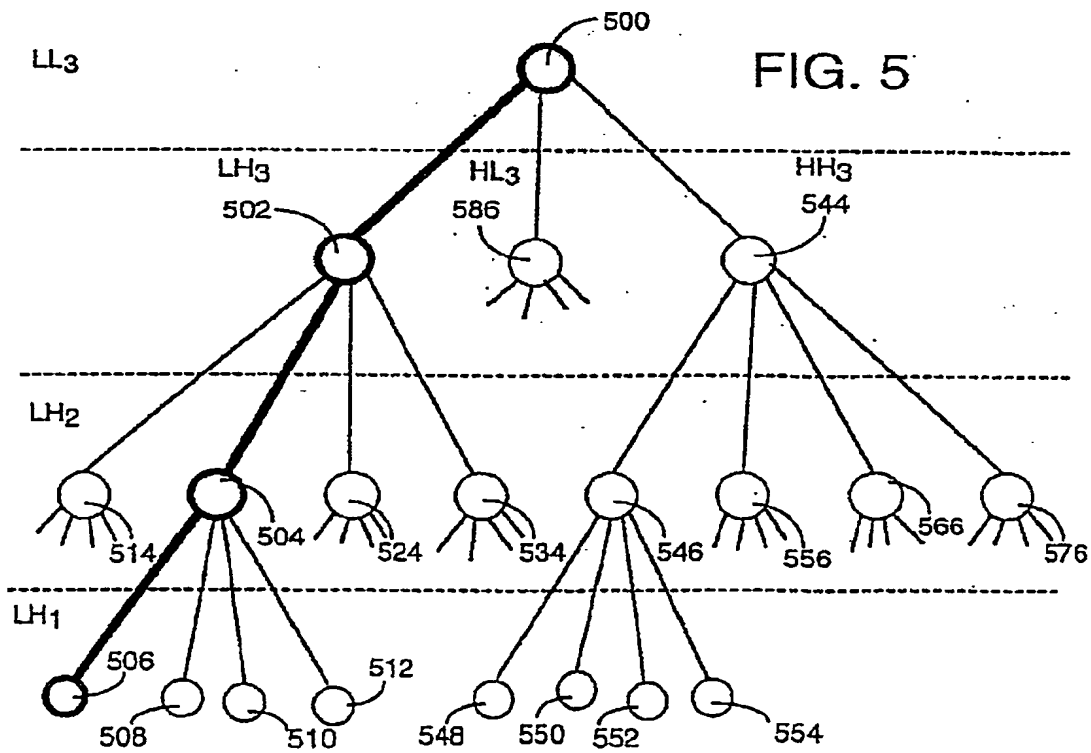
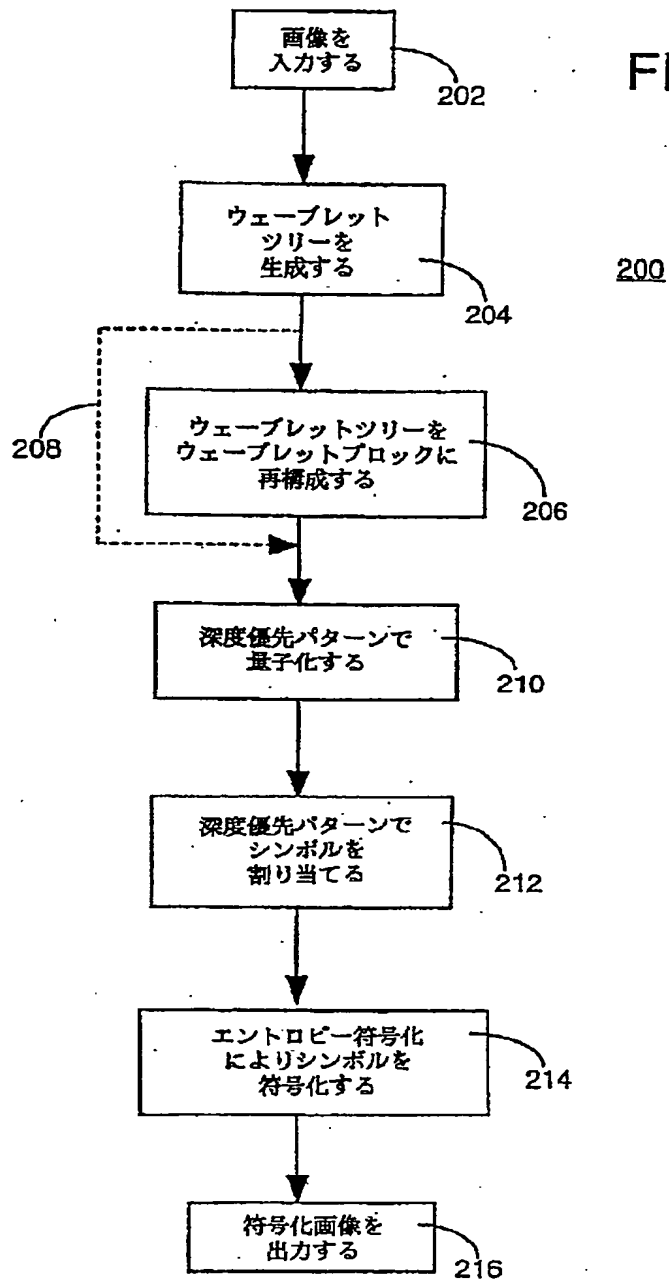


FIG. 5

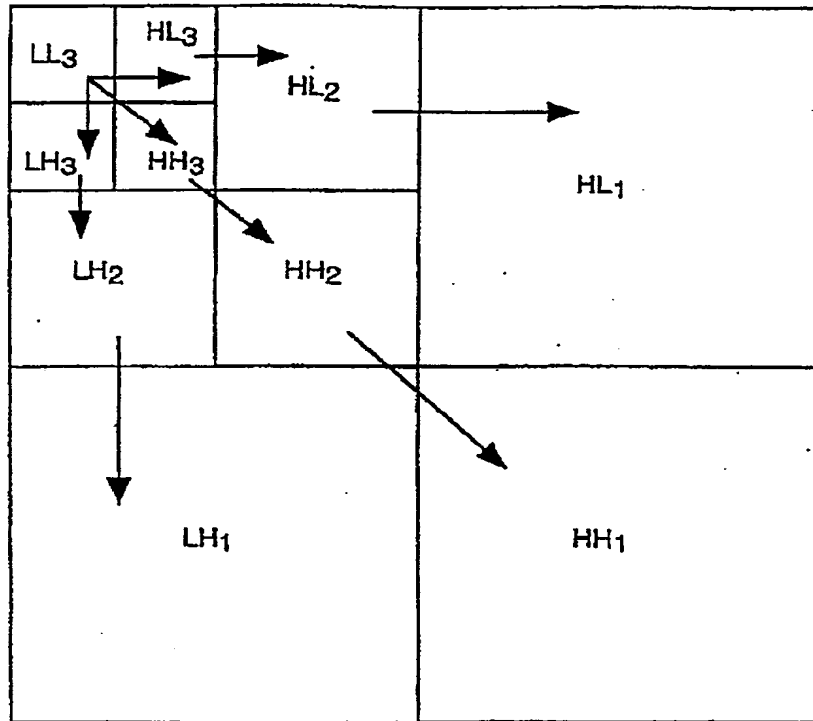
【図2】

FIG. 2



【図3】

FIG. 3



【図4】

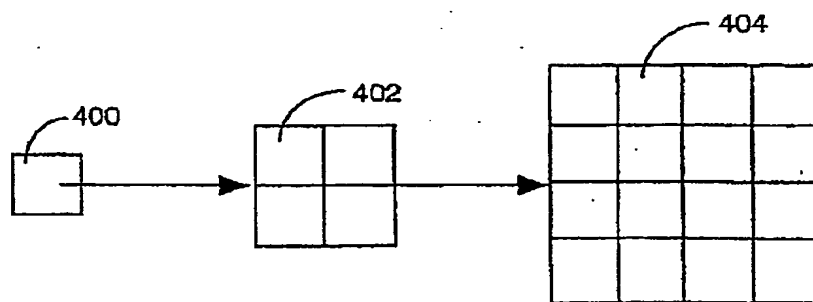
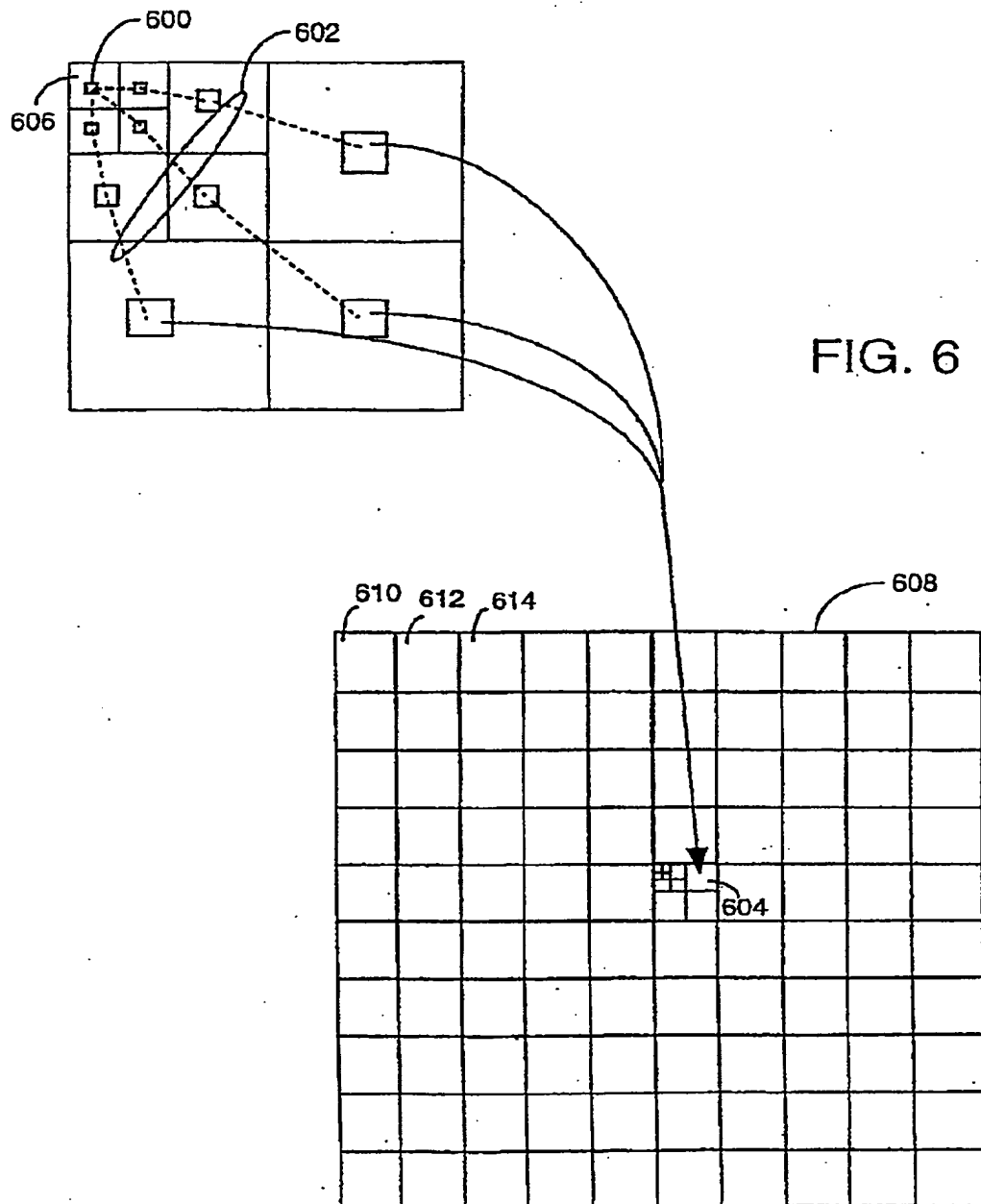
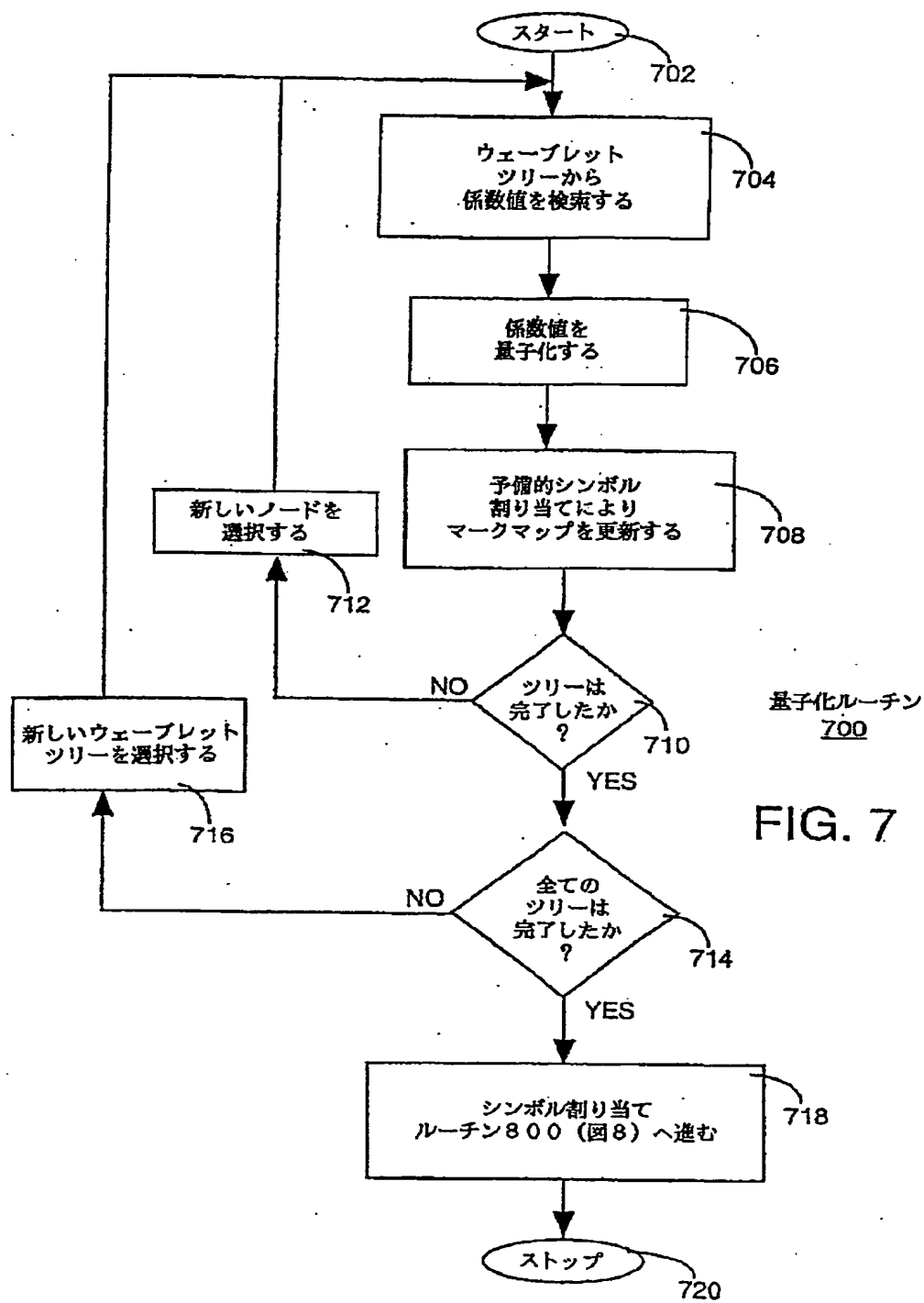


FIG. 4

【図 6】

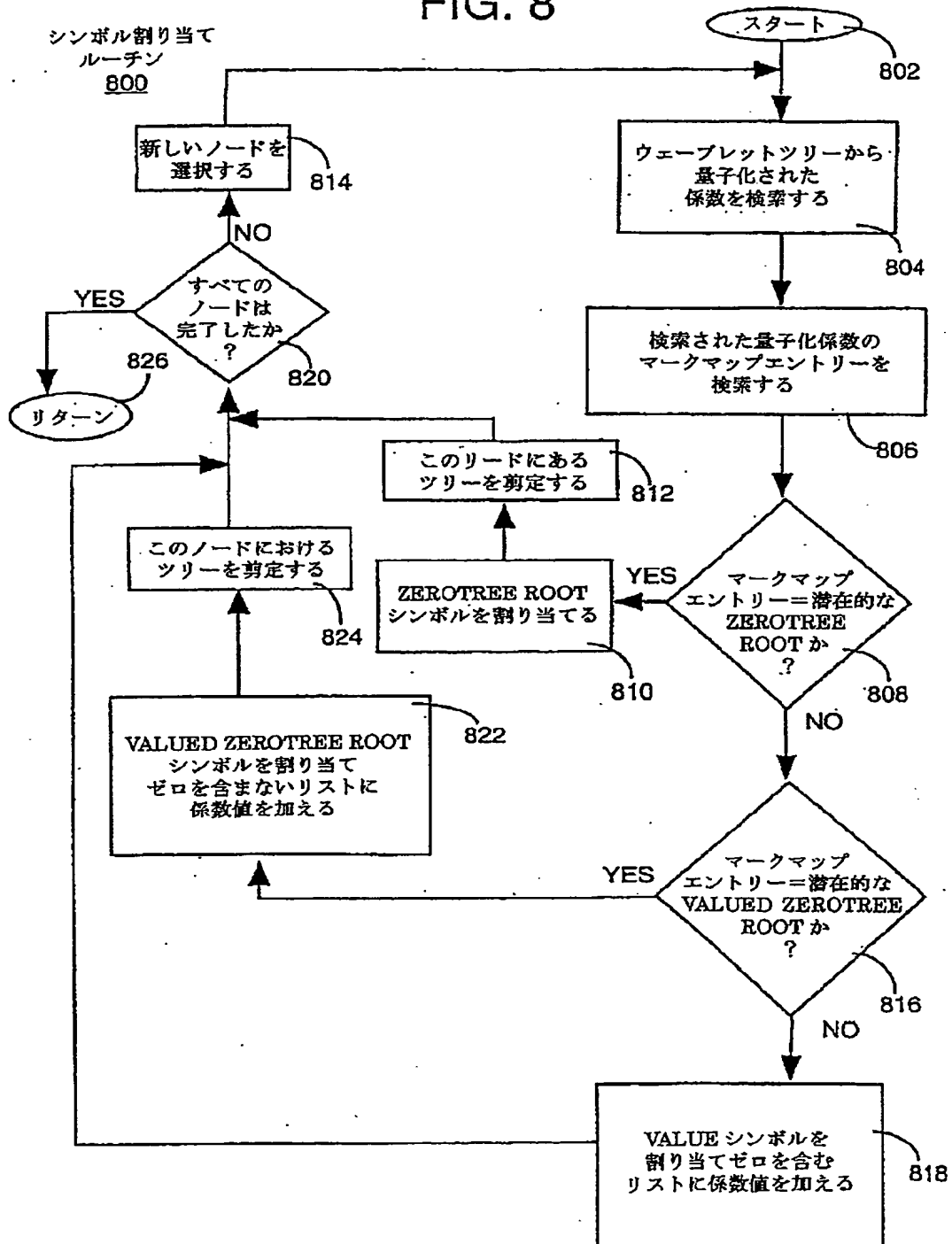


【図7】



【図 8】

FIG. 8



【図9】

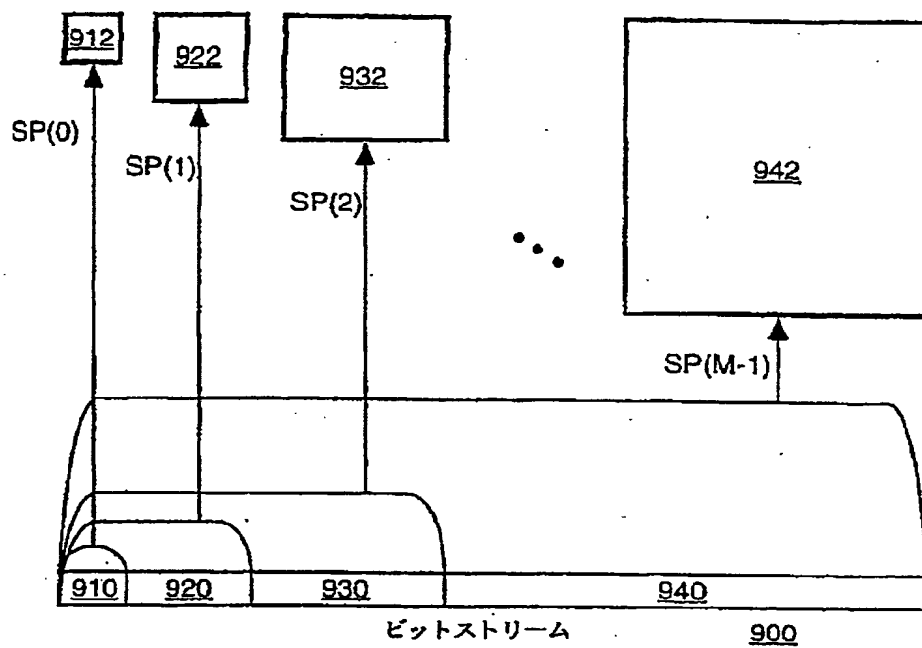


FIG. 9

【図10】

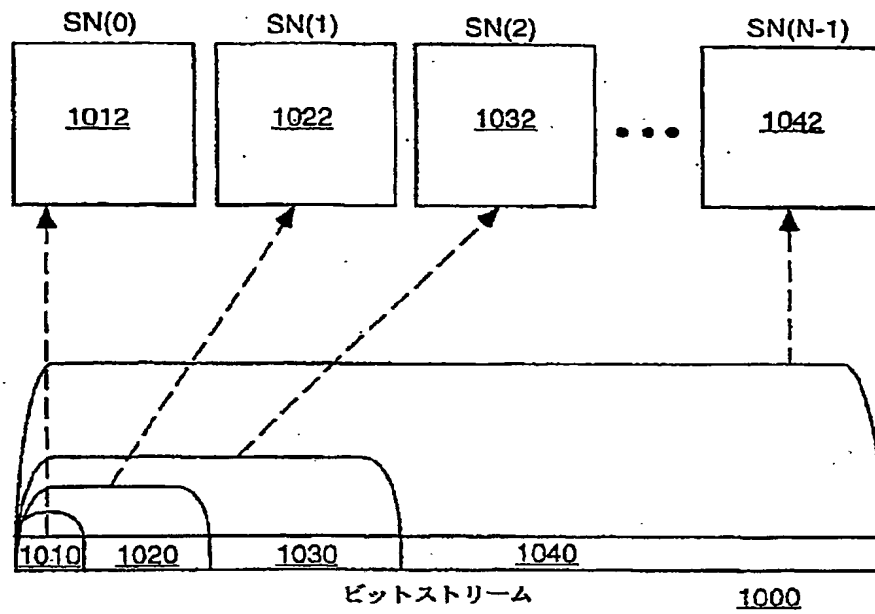


FIG. 10

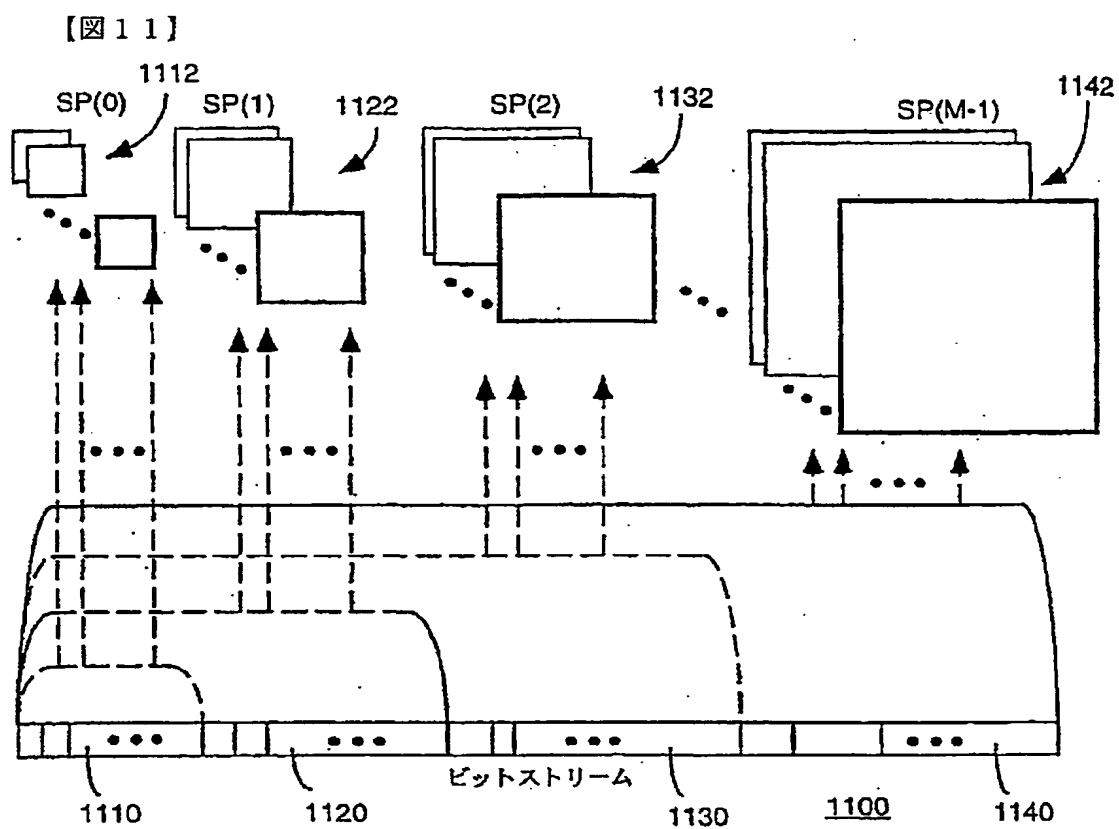


FIG. 11

【図12】

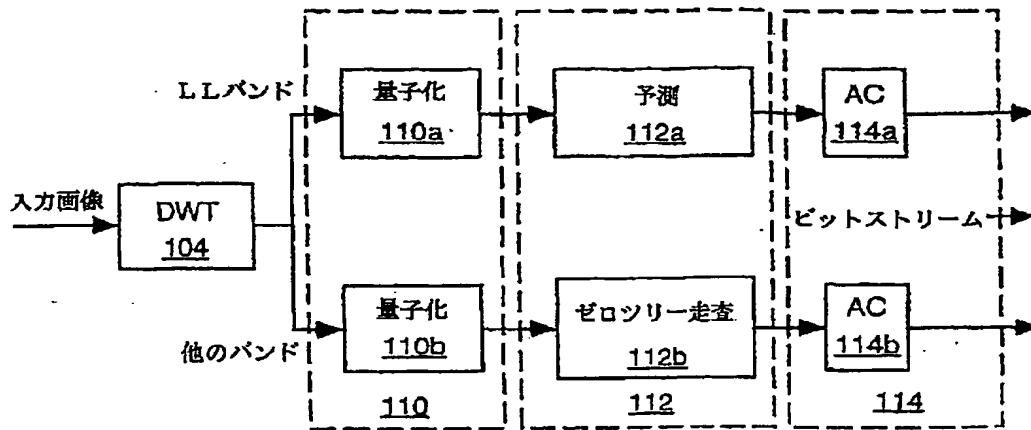


FIG. 12

100

【図13】

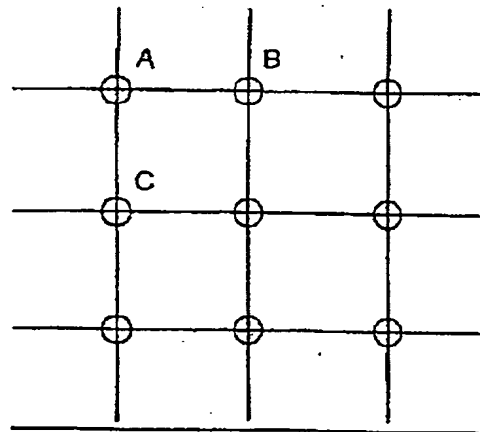


FIG. 13

【図14】

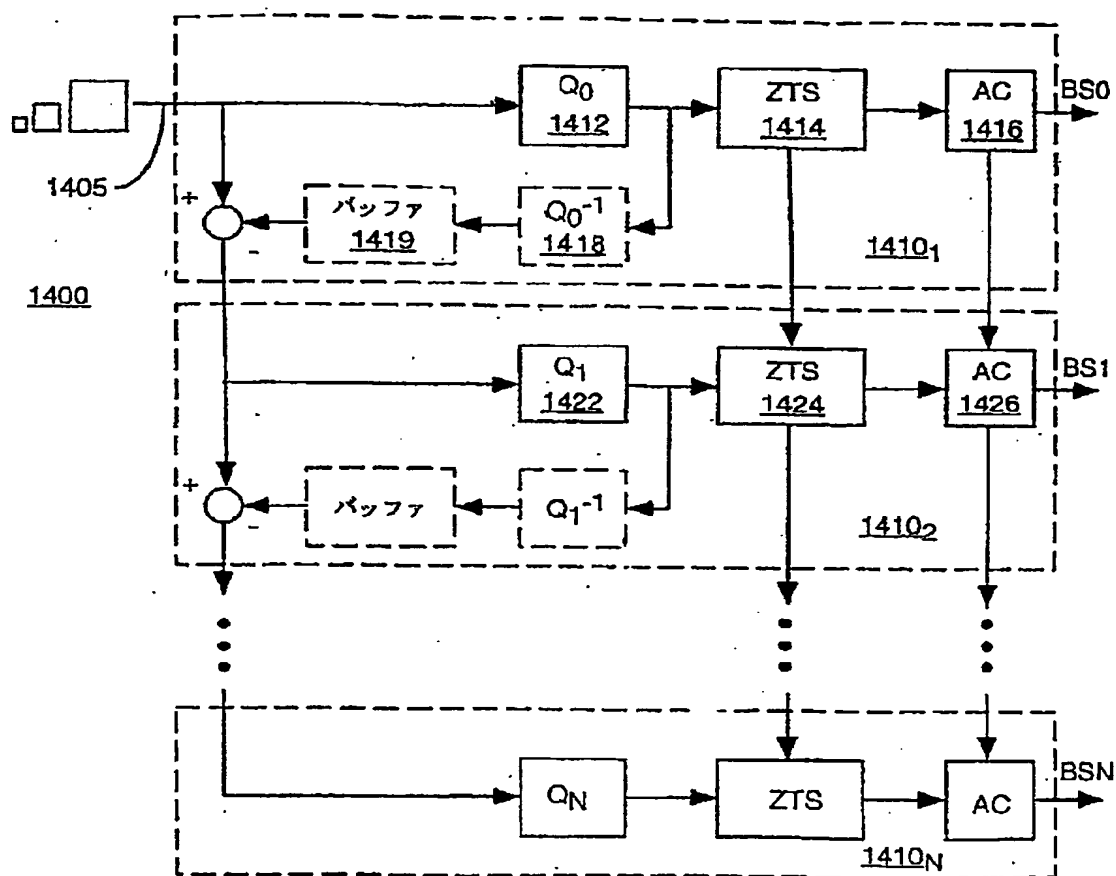


FIG. 14

【図15】

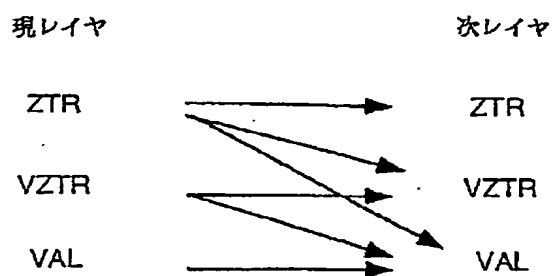


FIG. 15

【図16】

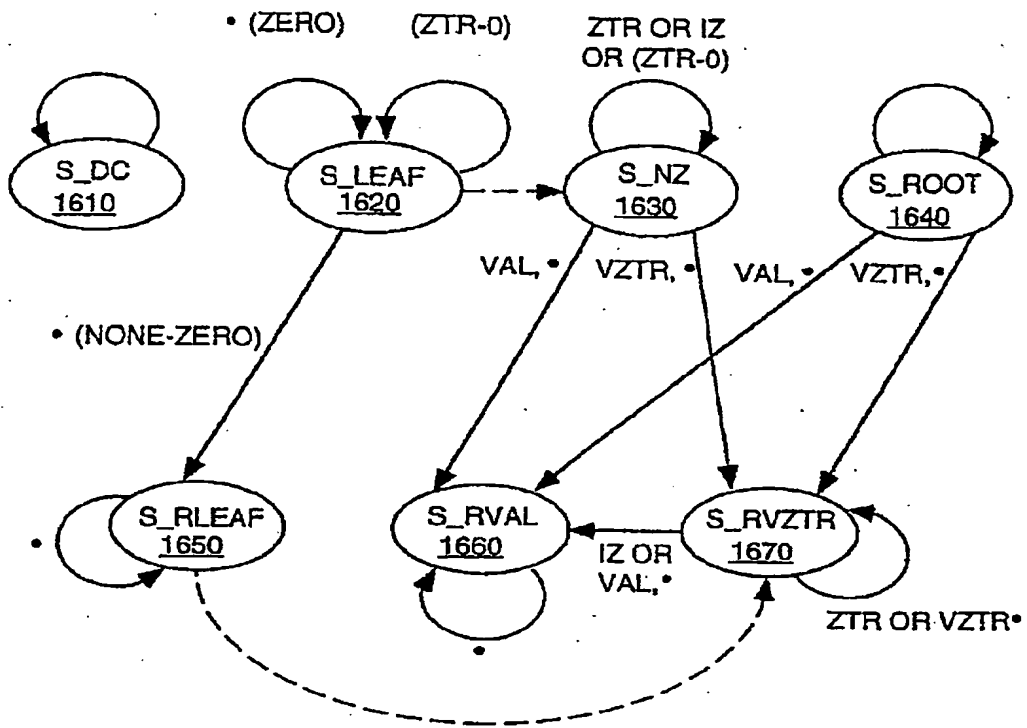


FIG. 16

【図17】

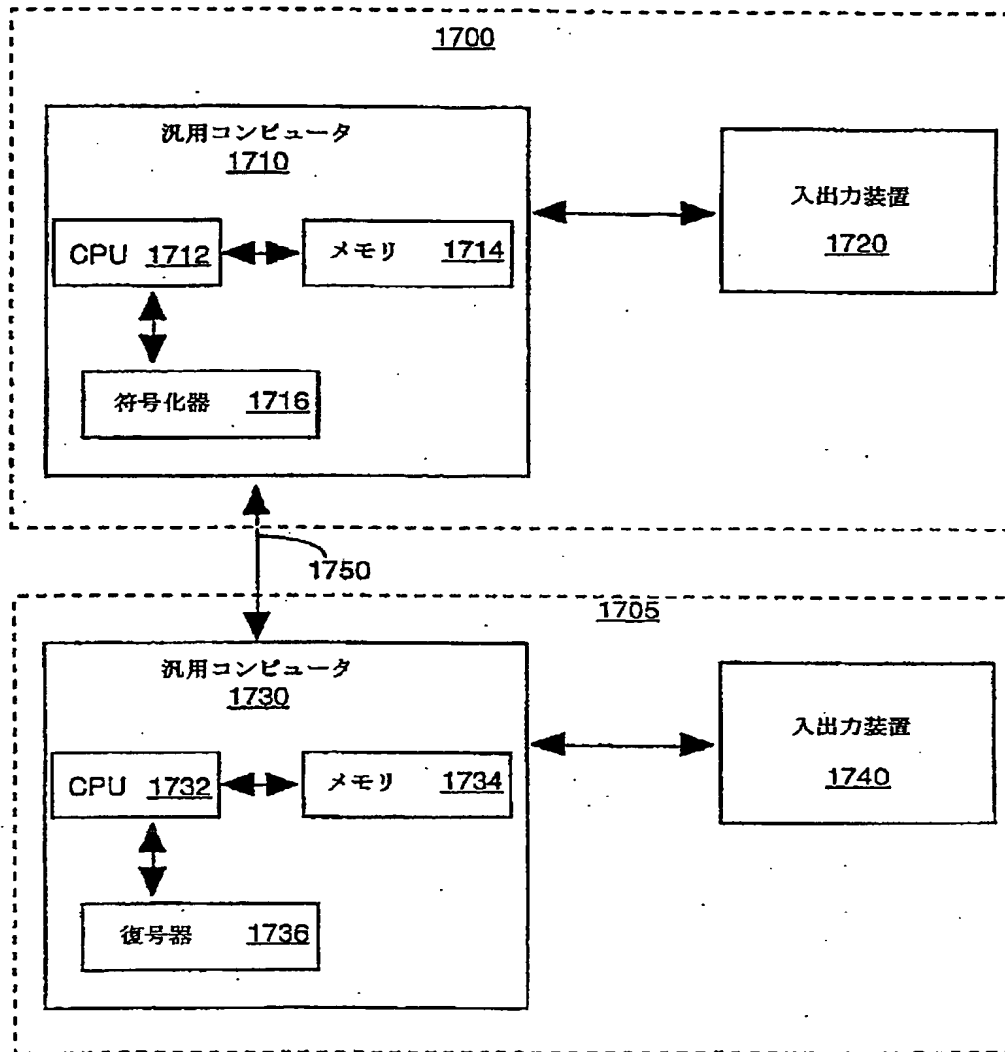
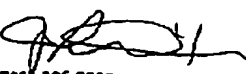


FIG. 17

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US98/14160

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(6) : G06K 9/36, 9/46 US CL : 382/240, 247, 248 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 382/240, 247, 248, 239 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5,315,670 A (SHAPIRO) 24 MAY 1994, ABSTRACT	1-11
A	JEROME M. SHAPIRO, AN EMBEDDED HIERARCHICAL IMAGE CODER USING ZEROTREES OF WAVELET COEFFICIENTS, THE DAVID SARNOFF RESEARCH CENTER, 1993, PAGES 214-223.	1-11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel (or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone) *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *A* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 SEPTEMBER 1998		Date of mailing of the international search report 02 NOV 1998
Name and mailing address of the ISA/US Commissioner of Patents and Trademarks Box PCT Washington, D.C. 20231 Facsimile No. : (703) 305-3230		Authorized officer PHUOC TRAN  Telephone No. : (703) 305-3900

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN

(72)発明者 チャイ, ピン-ピン

アメリカ合衆国, 08536 ニュージャージー
州, プレンズボロ, 51-03 フォックス
ラン ドライブ

(72)発明者 ハトラック, ボール

アメリカ合衆国, 08648 ニュージャージー
州, ローレンスビル, 51 ノースブルック
アベニュー

(72)発明者 リー, ホン-ジュ

アメリカ合衆国, 08550 ニュージャージー
州, ウェスト ウィンザー, 3 ディン
スモア レーン